

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vliv tepelných účinků na průmyslový rozváděč nn
The Impact of a Heating Effect on an Industrial
Distribution Board

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Valenta**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Vliv tepelných účinků na průmyslový rozváděč nn**
The Impact of a Heating Effect on an Industrial Distribution Board
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor provedení a požadavků na průmyslový rozváděč nn.
2. Teoretický rozbor ztrát vznikajících v rozváděčích a možnosti jejich eliminace.
3. Definování vnějších vlivů na tepelný režim rozváděče nn.
4. Možnosti experimentálního sledování tepelných poměrů v rozváděči.
5. Ověření vybrané metody na konkrétním případě z praxe.
6. Rozbor dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Havelka, O.: Elektrické přístroje, SNTL 1985
2. Havelka, O.: Stavba elektrických přístrojů I, VUT Brno 1985
3. Fajt, V.: Elektrická měření, SNTL 1987
4. Příslušné ČSN, EN a IEC

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

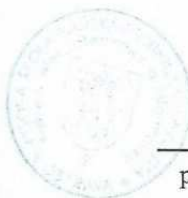
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

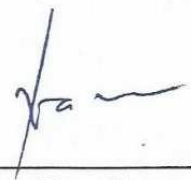
Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry






prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Tímto děkuji svému vedoucímu Ing. Zdeňku Hytkovi CSc. za jeho odbornou radu a pomoc se zpracováváním této práce. Dále chci poděkovat firmě GDF spol. s r.o. za poskytnutí materiálů pro vypracování praktické části.

V Ostravě dne 24. 4. 2018


.....

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá rozbořem oteplení elektrických rozváděčů. První část se zabývá různými druhy rozvoden a rozváděčů, základními požadavky, které jsou kladeny na rozvodná zařízení, dále stupni krytí a zásady při dimenzování. V další části práce jsou zahrnuty základní teoretické poznatky o šíření tepla pomocí vedení, proudění a sálání, na které dále navazuje část o možnostech eliminace tepelných ztrát v rozváděčích. Do poslední části teoretického rozboru je zařazený princip termovizního zařízení a základní pravidla při práci s termokamerou. Praktická část se věnuje ověřování teplot na skutečném rozváděči v praxi. Dále jsou zde analyzovány kritické teploty a vliv ročního období na oteplení jednotlivých komponentů. V další části je rozebraný návrh nového chlazení rozváděče. V poslední podkapitole jsou základní parametry, které byly nastaveny v termokameře při měření.

Klíčová slova

rozdávěč, oteplení, termokamera, rozvodna, teplo, chlazení, tepelné ztráty, teplota, měření, dimenzování, stupeň krytí, frekvenční měnič, ventilátor

Abstract

This diploma thesis deals with the analysis of distribution board warming. The first part deals with various types of distribution points and distribution boards, the basic requirements for distribution devices, the levels of protection and designing principles. The next part of the work includes the basic theoretical knowledge about heat transfer using conduction, convection and radiation. Then a part about the possibilities of the elimination of heat losses in distribution boards follows. The theoretical part also includes the description of the principle of thermal imaging equipment and basic rules for working with a thermal imaging camera. The practical part focuses on the verification of temperatures on a real distribution board. Critical temperatures and the influence of the season on the warming of individual elements are analysed in this work. A design of a new distribution board cooling is described in the next part. The last subchapter also mentions the basic parameters of the thermal imaging camera which were used during the measurement.

Key words

distribution board, warming, thermal imaging camera, distribution point, heat, cooling, heat losses, temperature, measurement, designing, protection level, frequency shifter, vent

Obsah

1	Úvod.....	13
1.1	Cíle	14
2	Základní pojmy	14
3	Základní požadavky kladená na rozvodná zařízení.....	15
4	Stupeň krytí	16
5	Druhy rozváděčů	18
5.1	Rozváděče nn a vn.....	18
5.2	Rozváděče vvn	19
6	Zásady dimenzování rozvodu a rozváděčů.....	20
6.1	Ochrana izolací.....	20
6.2	Zkoušky	20
6.3	Trvalé oteplení.....	23
6.4	Zkratová a dynamická odolnost	24
6.5	Odolnost proti vnějším vlivům.....	24
6.6	Spolehlivost a životnost	25
7	Základní způsoby šíření tepla.....	26
7.1	Výpočet přestupu tepla z povrchu teplého tělesa do okolního prostředí.....	26
7.2	Přechodový děj při oteplování tělesa působením tepelného zdroje, uvnitř tělesa	27
7.3	Šíření tepla z povrchu tělesa při sdílení tepla konvekcí	30
7.4	Šíření tepla z povrchu tělesa při sdílení tepla sáláním	34
7.5	Šíření tepla vedením.....	35
8	Tepelné ztráty rozváděčů a možnosti jejich eliminace.....	37
8.1	Zdroje tepelných ztrát v rozváděči	37
8.2	Účinný chladicí povrch rozváděče	39
8.3	Chlazení rozváděčů	40
9	Práce s termokamerou	45
9.1	Základní principy tepelného záření.....	45
9.2	Konstrukce termokamery	46
9.3	Chyby a nejistoty při měření	47
10	Experimentální měření oteplení na rozváděči	50
10.1	Charakterizace místa měření	50
10.2	Parametry a popis rozváděče.....	51

10.3	Hlavní zdroje tepelných ztrát a jejich následky	53
10.4	Srovnání oteplení v různých ročních obdobích	60
10.5	Snížení tepelných ztrát	62
10.6	Uživatelské menu termokamery	68
11	Závěr	70
	Použitá literatura	74
	Přílohy	78

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Popis	Jednotka
a	Minimální vzdušná vzdálenost	[m]
b	Wienova konstanta	[mm·K]
b_i	Součinitel povrchu	[-]
c	Měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
c_n	Konstanta	[-]
c_p	Měrná tepelná kapacita při stálém tlaku	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
g	Tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
m	Činitel podobnosti	[-]
n	Konstanta	[-]
nn	Nízké napětí	[-]
t_k	Doba trvání zkratu	[s]
vn	Vysoké napětí	[-]
vvn	Velmi vysoké napětí	[-]
zvn	Zvlášť vysoké napětí	[-]
A	Konstanta určená počátečními podmínkami	[-]
A_e	Účinný chladičí povrch rozváděče	[m ²]
C	Tepelná kapacita	[J·K ⁻¹]
E	Energie	[J]
G	Elektrická vodivost	[S]
Gr	Grasshoffovo číslo	[-]
I_c	Zkratový proud	[A]
I_{cc}	Jmenovitý podmíněný zkratový proud	[A]
I_{cw}	Jmenovitý krátkodobý výdržný proud	[A]
I_n	Jmenovitý proud	[A]
I_{pk}	Jmenovitý dynamický proud	[A]
L	Charakterizující rozměr tělesa	[m]
$M_{\lambda i}$	Spektrální intenzita vyzařování	[W·m ⁻³]
Nu	Nusseltovo číslo	[-]

P	Tepelné ztráty odevzdané do prostředí	[W]
Pr	Prandtlovo číslo	[-]
Pr_f	Prandtlovo číslo pro teplotu kapaliny	[-]
Pr_w	Prandtlovo číslo stanové pro teplotu povrchu tělesa	[-]
P_{vsup}	Elektrický výkon, vstupující do rozváděče	[W]
$P_{\text{výstup}}$	Elektrický výkon, vystupující z rozváděče	[W]
P_{ztr}	Ztrátový výkon vnitřního vybavení rozváděče	[W]
Q	Zářivá energie	[J]
Q_a	Pohlčené zářivá energie	[J]
Q_r	Odražené zářivá energie	[J]
Q_t	Průchozí zářivá energie	[J]
R	Elektrický odpor	[Ω]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S	Povrch tělesa předávající teplo	[m ²]
T	Termodynamická teplota	[K]
U_i	Jmenovité izolační napětí	[V]
U_{imp}	Jmenovité impulzní výdržné napětí	[V]
U_n	Jmenovité napětí	[V]
α	Součinitel přestupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
β	Součinitel tepelné roztažnosti	[1/°C]
ε	Emisivita povrchu	[-]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
λ_i	Vlnová délka	[nm]
λ_{max}	Vlnová délka maxima vyzařování	[nm]
μ	Dynamická viskozita	[Ns·m ⁻²]
ϱ	Měrná hmotnost	[kg·m ⁻³]
σ_0	Stefan-Boltzmanova konstanta	[W·cm ⁻² ·K ⁻⁴]
ϑ	Teplota povrchu tělesa	[°C]
ϑ_e	Vnější teplota	[°C]
ϑ_i	Vnitřní teplota	[°C]
ϑ_{ip}	Teplota vnitřního povrchu krytu	[°C]

ϑ_{ep}	Teplota vnějšího povrchu krytu	[°C]
ϑ_0	Teplota okolního prostředí	[°C]
$\Delta\vartheta$	Oteplení	[°C]
$\Delta\vartheta_{\infty}$	Oteplení v ustáleném stavu	[°C]
θ	Teplota vyzařujícího povrchu	[K]
Φ	Tepelný tok	[W]

Seznam ilustrací

Obr. 6.1: Průběh impulzivního výdržného napětí. [2].....	22
Obr. 7.1: Oteplovací průběh homogenního tělesa. [5]	28
Obr. 7.2: Průchod zářivého toku tělesem. [6].....	34
Obr. 8.1: Tepelné toky v rozváděči. [7]	38
Obr. 8.2: Rozložení teploty na rozhraní vnitřního a vnějšího prostředí. [8]	38
Obr. 8.3: Znázornění principu nucené ventilace. [14].....	41
Obr. 8.4: Znázornění principu tepelného výměníku vzduch/vzduch. [14].....	41
Obr. 8.5: Znázornění principu tepelného výměníku vzduch/voda. [14].....	42
Obr. 8.6: Znázornění principu chladicí jednotky. [14].....	42
Obr. 8.7: Znázornění střešního chlazení při větším počtu jednotek. [11]	43
Obr. 9.1: Wienův posunovací zákon. [18].....	45
Obr. 9.2: Blokové schéma principu termokamery. [19].....	46
Obr. 9.3: Chyba způsobená špatným nastavením emisivity. [19]	48
Obr. 9.4: Vliv odraženého tepelného záření. [19]	49
Obr. 10.1: Náhled na rozváděč a jeho okolí.	51
Obr. 10.3: Náhled na zavřený rozváděč.	52
Obr. 10.2: Náhled na vnitřní dveře.....	52
Obr. 10.4: Náhled na otevřený rozváděčový prostor.....	52
Obr. 10.5: Povrchová teplota přední strany rozváděče.	54
Obr. 10.6: Umístění vyfukovací mřížky.....	54
Obr. 10.7: Pohled na sací otvor na boku rozváděče.	55
Obr. 10.8: Zadní strana rozváděče.	55
Obr. 10.9: Náhled na oddělení frekvenčního měniče od řídicího a jistícího prostoru.....	56
Obr. 10.10: Průběh oteplení a vlhkosti uvnitř rozváděče.	56
Obr. 10.11: Topný odpor.....	58
Obr. 10.12: Náhled na povrchovou teplotu průmyslového routeru.....	58
Obr. 10.13: Nové umístění průmyslového routeru.....	59
Obr. 10.14: Hlavní jistič frekvenčního měniče.	60
Obr. 10.15: Náskres malého ventilátoru. [26].....	63
Obr. 10.16: Vstupní obrazovka programu ProClima.	63
Obr. 10.17: Zvolení použitého rozváděče v programu ProClima.	64
Obr. 10.18: Vstupní parametry teplot v programu ProClima.....	65
Obr. 10.19: Výběr použité konfigurace chlazení v programu ProClima.....	66
Obr. 10.20: Řešení chlazení v programu ProClima.....	66
Obr. 10.21: Náskres velkého ventilátoru. [25].....	67
Obr. 10.22: Rozdíl mezi malým a velkým ventilátorem.	67
Obr. 10.23: Menu termokamery.	68

Seznam tabulek

Tab. 4.1: Přehled stupňů krytí. [3]	16
Tab. 6.1: Minimální vzdušné vzdálenosti ve vzduchu. [2].....	21
Tab. 6.2: Impulzní výdržná zkušební napětí. [2].....	21
Tab. 6.3: Meze oteplení. [2]	23
Tab. 8.1: Různé typy instalací a jejich součinitele povrchu. [7]	39
Tab. 10.1: Seznam hlavních zdrojů tepelných ztrát.	53
Tab. 10.2: Naměřené hodnoty oteplení v různých částech rozváděče.	61
Tab. 10.3: Tropické dny a jejich teploty. [20].....	65

Seznam příloh

- A Experimentální měření - Léto 2017
- B Experimentální měření - Podzim 1. část 2017
- C Experimentální měření - Podzim 2. část 2017
- D Experimentální měření - Zima 2018
- E Výměna ventilátoru
- F Obvodové schéma rozváděče

1 Úvod

Každá elektroinstalace musí od nějakého místa začínat a také někde končit. Ve většině případů je tímto začátkem elektrický rozváděč nebo elektroměrový rozváděč. Konec elektroinstalace ústí do elektrických spotřebičů. V dřívějších dobách byli obyčejné rozvaděče vybaveny několika pojistkami a elektrickými svorkami. Vlivem narůstání energetické náročnosti toto tvrzení v dnešní době již není pravda. Velké změny ovlivnila snaha o bezpečnější elektroinstalaci, a taktéž i bezpečné užívání elektrických zařízení jak v domácnosti, tak v průmyslu. Je nutné upozornit na to, že každé elektrické zařízení má určitá provozní rizika a jsou dány požadavky, které je nutné splnit dle platných technických norem pro zabránění těmto rizikům. Z praktických zkušeností je nutné říci, že skutečné provedení rozváděčů je v mnoha případech velmi vzdálené normativním požadavkům. [28] V mnoha případech hraje významnou roli cena zařízení, která limituje všechny ostatní technické požadavky. Z těchto důvodů je začátek této diplomové práce zaměřený na požadavky kladené na rozvaděče a možnosti jejich dimenzování.

Při dimenzování rozváděčů je nutné dbát na všechny bezpečnostní předpisy a technické normy. Většina rozváděčů nebo rozveden musí projít typovou zkouškou, ve které se především řeší izolační stavy a odolnost proti silovým a dynamickým účinkům zkratů. Dále je nutné zkontrolovat odolnost proti vnějším vlivům, jelikož mnoho rozváděčových skříní bývá vystaveno klimatickým vlivům při venkovní instalaci. V neposlední řadě je důležité se také zaměřit na trvalé oteplení celého rozvaděče, což je hlavním tématem této práce.

Při projektování rozvaděče je ve většině případů návrh pro náročné teplotní podmínky méně obvyklou úlohou. Nicméně i v klimatických podmínkách v České republice lze najít řadu průmyslových provozů, v nichž je pasivní chlazení nedostatečné, vzhledem k vysoké teplotě okolí nebo velkému nárůstu ztrátového výkonu uvnitř rozvaděče. V těchto případech je nutné se zabývat problematikou nucené ventilace nebo klimatizační jednotky. Z těchto důvodů je i část práce zaměřena na obecné šíření tepla, zjišťování ztrát uvnitř rozváděčů a možnosti chlazení rozváděčových skříní, které nevyhovují z hlediska teplotních požadavků. [29]

Poslední část této diplomové práce se zabývá měřením oteplení na průmyslovém rozváděči nízkého napětí, který slouží pro napájení vodovodního vrtu. Tuto problematiku je zapotřebí řešit, jelikož každý je nucen řešit i odvod tepla, a pokud ten je nedostatečný, je třeba vymyslet řešení, jak rozvaděč chladit. Aby tento postup byl možný, je nutné zjistit jaká teplota je uvnitř rozvaděče a na jeho povrchu. K těmto účelům je doporučeno mnoho měřících zařízení, ale předmětem praktické části této práce je měření pomocí termovizního zařízení.

Jednou z klíčových úloh každého rozvaděče je zajistit bezpečnou a spolehlivou funkci. K těmto účelům slouží vnitřní výzbroj rozvaděče skládající se z jistících a měřících přístrojů. Pro zajištění spolehlivosti a životnosti je nutné v rozvaděči udržovat určitou mez teploty a vlhkosti, tak aby elektrické přístroje nedegradovali. Z těchto důvodů se nemalá část práce věnuje hraničním teplotám jednotlivých přístrojů a teplotním extrémům, které byli na nich naměřeny v různých časových úsecích.

Na tyto předpoklady bude brán ohled při řešení teplotních vlivů. Jelikož každé elektrické zařízení je nutné chránit před nežádoucími účinky, tak i část práce se bude věnovat návrhu nového chladícího zařízení tak aby odpovídalo požadavkům provozu, nedošlo k zbytečnému předimenzování, ale zároveň udrželo rozváděčový systém bezpečný a spolehlivý.

1.1 Cíle

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou oteplování elektrických rozváděčů, se základními druhy rozváděčů a rozvodem, jejich dimenzováním a objasnění možností eliminace teplotních extrémů, které mohou na těchto zařízeních vznikat. V dalších kapitolách teoretické části, se práce bude věnovat možnostem šíření tepla pomocí empirických vztahů. V praktické části bude tato práce zaměřena na extrémní případ oteplení skutečného rozváděče, možnostem zjišťování teplot pomocí termokamery, návrh chladicího systému, tak aby vnitřní teplota rozváděče vyhovovala i v letním období. Cílem praktické části je seznámení se základními problémy, které mohou nastat při nadměrném oteplení uvnitř rozváděče.

2 Základní pojmy

Rozváděč – Kombinace jednoho nebo více spínacích přístrojů spolu s přidruženými řídicími, měřicími, signalizačními, ochrannými a regulačními zařízeními, se všemi vnitřními, elektrickými a mechanickými propojeními a konstrukčními částmi.

Jmenovité napětí U_n – Nejvyšší jmenovité napětí elektrické soustavy, střídavé nebo stejnosměrné, stanovené výrobcem rozváděče, na kterou má být připojen hlavní obvod.

Jmenovitý proud I_n – Hodnota proudu, která je stanovena výrobcem rozváděče, který může obvodem protékat, aniž by oteplení různých částí rozváděče překročilo dovolenou mez za stanovených podmínek.

Zkratový proud I_c – Nadproud způsobený zkratem v důsledku poruchy nebo nesprávného zapojení v elektrickém obvodu.

Jmenovité izolační napětí U_i – Efektivní hodnota výdržného napětí, charakterizující specifikovanou odolnost izolace.

Jmenovité impulzní výdržné napětí U_{imp} – Hodnota impulzního výdržného napětí, charakterizující specifikovanou odolnost izolace proti přechodným přepětím.

Jmenovitý krátkodobý výdržný proud I_{cw} – Efektivní hodnota krátkodobého proudu, který může procházet obvodem bez poškození za specifikovaných podmínek, které jsou definovány proudem a časem.

Jmenovitý dynamický proud I_{pk} – Hodnota nárazového zkratového proudu stanovena výrobcem rozváděče, kterou je možné vydržet za specifikovaných podmínek.

3 Základní požadavky kladená na rozvodná zařízení

Technické

- Zabezpečení pracovních i poruchových režimů z hlediska izolace.
- Oteplení v trvalém i přechodném zatížení.
- Zkratová odolnost dynamická a tepelná.
- Spínací vlastnosti použitých přístrojů.
- Odolnost proti vnějším vlivům.
- Spolehlivost a životnost jednotlivých komponentů ale i systému jako celku.

Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

Jedná se o koordinaci funkčních vlastností při jejich minimálním vzájemném ovlivňování. K vzájemnému ovlivňování dochází především mezi primární a sekundární částí. Výkonová část je označována jako část primární a sekundární část se nazývá jako část řídicí, měřicí a ovládací. [1]

Sociální

Tyto požadavky určují snadnou obsluhu a provádění revizí na elektrickém zařízení. Dále je důležité zajistit ochranu proti nebezpečnému dotyku a to za normálního provozu ale i při poruchách nebo haváriích. [1]

Ekologické

Jedná se o omezení nepříznivých vlivů na životní prostředí. Do těchto požadavků patří především odolnost proti vzniku požáru nebo výbuchu. Dále je zde zahrnutá ochrana proti vnitřnímu obloukovému zkratu. Pokud tato porucha již nastane, tak musí být zajištěno omezení vlivu jen na místo vzniku poruchy, což znamená, že by se v rozvodně nebo v rozváděči neměla šířit dál, do ostatních elektrických zařízení. Tato situace ale může nastat, a proto je důležité zajistit rychlou obnovu provozu rozvodny nebo rozváděče. [1]

Jako další ekologický požadavek je zamezení vlivu životního prostředí na zařízení rozvodny nebo rozváděče. Zde je možné zahrnout ochranu před biologickými a chemickými vlivy. Tento požadavek je většinou zajištěn patřičným stupněm krytí. [1]

Ekonomické

Tento požadavek úzce souvisí s předešlými požadavky, protože pokud bude nutné dodržet technické parametry, vysokou spolehlivost, bezpečnost a v neposlední řadě snadnou obsluhu, cena takového zařízení bude vysoká.

Jedná se o pět základních požadavků, které by měly být dodrženy při návrhu rozvodného zařízení. Jednou ze základních možností, jak výše uvedené požadavky splnit, je využít patřičného stupně krytí.

4 Stupeň krytí

Tab. 4.1: Přehled stupňů krytí. [3]

Popisné schéma: IP XX		
1	První číslice popisuje stupeň ochrany osob před nebezpečným dotykem a stupeň ochrany zařízení před vniknutím cizích předmětů.	
2	Druhá číslice popisuje stupeň ochrany před vniknutím vody.	
Druhy krytí a jejich hodnoty		
První číslice	Stupeň krytí	
IP 0x	před nebezpečným dotykem	před vniknutím cizích předmětů
	bez ochrany	bez ochrany
	dlaní	velkých = ochrana před vniknutím pevných těles větších než 50 mm
	prstem	malých = ochrana před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm
	nástrojem	drobných = ochrana před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm
	nástrojem	velmi drobných = ochrana před vniknutím pevných těles větších než 1 mm
	jakoukoli pomůckou	prachu částečně = ochrana před prachem
	jakoukoli pomůckou	prachu úplně = prachotěsné (prach nesmí narušit činnost elektrického zařízení)
Druhá číslice	Stupeň krytí před vniknutím vody	
IP x0	bez ochrany	
IP x1	kapající = ochrana před kapkami vody dopadajícími svisle	
IP x2	kapající při sklonu do 15° = ochrana před kapkami vody dopadajícími pod úhlem do 15° od svislice	
IP x3	šikmo dopadající = ochrana před deštěm dopadajícím pod úhlem do 60° od svislice	
IP x4	stříkající = ochrana před stříkající vodou dopadající v libovolném směru	
IP x5	tryskající v libovolném směru = ochrana před tryskající vodou	
IP x6	při vlnobití = ochrana před intenzivně tryskající vodou a vlnobitím	
IP x7	při ponoření = ochrana před dočasným ponořením do vody (omezeno tlakem a časem)	
IP x8	při trvalém ponoření pod tlakem = ochrana při trvalém ponoření do vody (případná vniklá voda nesmí narušit činnost elektrického zařízení)	

Stupeň ochrany poskytovaný jakýmkoliv rozváděčem před dotykem živých částí, vniknutím pevných cizích těles a vody je vyjádřen pomocí kódu IP. Stupeň krytí se pohybuje od nejnižšího IP 00 až po nejvyšší stupeň krytí IP 68. Je nutné ale podotknout, že nedávno byl do normy přidán nový stupeň krytí, a to je IP 69. [1]

Stupeň krytí IP 00 je dnes nejrozšířenější stupeň krytí v nejvyšší napěťových hladinách, protože u nich nelze zajistit dostatečný izolační systém a z těchto důvodů je využito vzduchové izolace (jednotlivé fáze jsou od sebe vzdáleny tak, aby se vzájemně neovlivňovaly). Tohoto stupně je využito především u napěťových hladin 110 kV a více. Ochranu před dotykem živých částí je zajištěna zábranou nebo polohou elektrického zařízení. [1]

Minimální stupeň krytí u nízkého napětí je IP 20 a první stupeň krytí, který zajišťoval, tzv. pevný uzávěr, byl označován jako IP 44. Nejvyužívanější je u elektrických strojů, tam kde je vyžadováno, aby se vnější prostředí nedostalo dovnitř. [1]

Dalším stupněm krytí je IP 56 pro rozváděče nízkého nebo vysokého napětí. Nejvyšší stupně krytí IP 68 a IP 69 se nazývají plynotěsné uzávěry. Je možné se s nimi setkat u zapouzdřených rozvodů nebo rozváděčů, kde se využívá přetlakovaného plynu SF₆ (fluorid sírový). Taková rozvodna nebo rozváděč musí být hermeticky uzavřená, aby bylo zajištěné, že plyn neuniká ven. [1]

Rozvaděče pro venkovní nebo vnitřní použití, které jsou určeny k používání v místech s vysokou vlhkostí (vodojemy, čerpací stanice nebo úpravný vod) nebo s teplotami, které se mění v širokém rozsahu, musí být opatřeny vhodnými zařízeními jsou například ventilátory nebo vnitřním vytápěním. Je důležité zmínit, že i u těchto případů je nutné dodržet požadovaný stupeň krytí. [1]

5 Druhy rozváděčů

5.1 Rozváděče nn a vn

Kobkové

Jedná se historicky o nejstarší rozváděče, o kterých lze mluvit také jako o rozvodnách, protože se jedná o otevřené provedení, u něhož je nutné zabránit přístupu cizích osob. V dnešní době se již nevyrábějí, ale je možné se s nimi ještě na mnoha místech setkat. Umísťovali se do samostatných budov nebo do oddělených místností, které musely být samostatně speciálně stavebně upravené a z tohoto důvodu jsou nazývány spíše rozvodnami. [1]

➤ Nevýhody[1]

Zabírají velký prostor.

Vysoké investice na výstavbu budov nebo místností.

Nesplňují většinu základních požadavků kladených na rozvodná zařízení.

➤ Výhody[1]

Mají snadný přístup.

Vykazují se dobrou přehledností.

Rámové s částečným kovovým krytím

Tyto rozváděče mají krytí pouze zepředu pomocí plechových dveří. Lze říci, že se jedná o základní přechod z kobkových rozváděčů na rozváděče s částečným kovovým krytím tím, že se ke kobkovým rozváděčům přidali dveře. [1]

Kovově kryté

Jedná se o celoplechové provedení, které je v dnešní době nejrozšířenější. Jsou vyrobené ze speciálních plechů, které se nemusí povrchově upravovat proti korozi. Označení těchto plechů je aluzink a jsou složeny z běžných ocelových plechů, které jsou pozinkovány a pohliníkovány. Hliník se k těmto plechům přidává z technologických důvodů kvůli stříhání. Je důležité zmínit, že při stříhání pozinkovaného plechu narušíme vrstvu zinku a na střížné hraně odhalíme ocelový plech, což časem způsobuje korozi. Hliník se díky svým materiálovým vlastnostem přetáhne přes střížnou hranu, a tím je zabráněno korodování. V dnešní době se většina plechů ještě lakuje dle přání zákazníka nebo dle aktuálního seznamu laků výrobce. Minimální stupeň krytí u těchto rozváděčů je IP 56. [1]

Dále můžeme dělit rozváděče do následujících kategorií: [4]

- Skříňový – Skládá se z několika polí, které stojí na podlaze.
- Skříňový stavebnicový – Je tvořen soustavou několika mechanicky spojených skříní.
- Pultový – Jedná se o rozváděč se šikmým nebo vodorovným ovládacím panelem, který na svém povrchu obsahuje měřicí jednotky, signalizační kontrolky a ovládací tlačítka.

- Rozvodnice – Využívá se především v oblasti nn. Může být v provedení s dveřmi, bez dveří, nástěnné na omítku, zapuštěné do zdi. Výběr správné rozvodnice (její stupeň krytí) určuje místo, kde bude využívána (venkovní, vnitřní prostory).

Od rozváděčů nízkého napětí se rozváděče vn liší hlavně uspořádáním skříně. Každá skříň slouží pouze jednomu vývodu, přívodu nebo jiné funkci, což u rozváděčů nn neplatí. Díky tomu se dělí rozváděče do jednotlivých polí. [1]

Každé pole se pak následně dělí do pěti základních prostorů:

Část primární (Výkonová) [1]

1. Prostor vypínače

Jedná se o samostatně oddělený prostor od všech ostatních částí.

2. Prostor přípojníc

Na rozdíl od rozváděčů nn se elektrická energie nepřivádí pomocí kabelů ale pomocí přípojníc. (Nejčastěji se jedná o holé měděné pásy.)

3. Prostor kabelového vývodu (přívodu)

V tomto prostoru jsou nejčastěji umístěny kabelové koncovky a měřicí transformátory.

4. Prostor odpojovače

Tento prostor se v rozváděčích vn může vyskytovat, ale také nemusí, záleží to na typu provedení vypínače. Odpojovač tam musí být tehdy, je-li vyžadována instalace vypínače v pevném provedení (opak výsuvného provedení). Toto provedení zajišťuje viditelné rozpojení proudovodné dráhy. Pokud je vypínač ve výsuvném provedení, tak zároveň plní i funkci odpojovače, což znamená vypnutí a vysunutí vypínače do odpojené polohy.

Část sekundární (Měřicí, řídicí, signalizační) [1]

Může být součástí každého pole zvlášť a bývá většinou umístěn v nejvyšším prostoru. Může být umístěn i v samostatném poli.

5.2 Rozváděče vn

Do této kategorie jsou zařazeny převážně izolačně kryté rozvodny a rozváděče. Jako izolační medium se v dnešní době využívá fluoridu sírového (SF_6). Díky menším izolačním vzdálenostem vlivem dobrých vlastností plynu SF_6 jsou tyto rozvody mnohem menší než klasické rozvodny se vzdušnou izolací. [1]

6 Zásady dimenzování rozvoden a rozváděčů

Jedná se rozsáhlý soubor předpisů a norem, které mají za úkol eliminovat nebo minimalizovat všechny poruchové stavy, které mohou v obvodu vzniknout. (zkratky, přepětí, podpětí atd.) [1]

6.1 Ochrana izolací

Izolace musí splňovat odolnost vůči atmosférickým přepětím převážně v oblasti vn. Dále pak proti přepětím spínacím (oblast vvn a zvn), které dosahují mnohem vyšších hodnot než v oblasti vn. Mezi poslední typy přepětí patří spínací a provozní, které lze najít ve všech oblastech. [1]

Do základní ochrany a ochrany při poruše celkovou izolací patří následující podmínky: [2]

- Jednotlivé přístroje musí být kompletně uzavřeny v izolačním materiálu, který je realizován dvojitou nebo zesílenou izolací.
- Skříně nesmí pronikat na žádném místě vodivé části, což znamená, že se nesmí poruchové napětí dostat ven ze skříně. Avšak některé části mohou z konstrukčních důvodů jít skrze skříně, například hřídele ovládačů. Ochrana izolací musí být zajištěna z vnější nebo vnitřní strany skříně od živých částí. Musí být dimenzované na maximální izolační napětí a maximální jmenovité impulzní výdržné napětí všech obvodů, které se v rozváděči nacházejí.
- Před uvedením rozváděče do provozu (připojení k napájení) je nutné pomocí krytů skříně obklopovat všechny živé, neživé části a dále části, které patří k ochrannému obvodu tak, aby nebylo možné se těchto částí dotknout (Min. IP 2X).
- Další důležitou podmínkou je nutnost použití přepážky nebo krytu z izolačního materiálu u rozváděčů, které je možné otevřít bez použití klíče. Toto opatření nám zajišťuje ochranu před neúmyslným dotykem živých částí.

6.2 Zkoušky

Kusové ověřování je především určené k zjišťování závad v materiálech a provedení za účelem zjistit správnou funkčnost vyrobeného rozváděče. Toto ověřování se musí provádět na každém zařízení a výrobce je povinen určit, zda se kusové zkoušky budou provádět během výroby nebo až po kompletním vyrobení. [2]

Kusové ověřování se nemusí provádět na samostatných přístrojích, protože jejich funkčnost garantuje výrobce, pokud dodržíme pokyny k správné instalaci. [2]

Ověřování musí zahrnovat tyto kategorie: [2]

Zkoušky na konstrukci:

- Stupeň krytí
Nutná vizuální prohlídka a zjistit, zda jsou dosažena předepsaná opatření pro dosažení určitého stupně krytí.
- Vzdušné (izolační) vzdálenosti a povrchové cesty.

Tab. 6.1: Minimální vzdušné vzdálenosti ve vzduchu. [2]

Jmenovité impulzní výdržné napětí U_{imp} (kV)	Minimální vzdušná vzdálenost a (mm)
< 2,5	1,5
4	3
6	5,5
8	8
12	14

Při vzdálenostech menších než jsou uvedeny v Tab. 6.1 se provádí zkouška impulzivním výdržným napětím. Pokud z vizuální prohlídky není zřejmá přesná vzdálenost, musí být provedena zkouška buď fyzikálním měřením, nebo impulzivním výdržným napětím. [2]

Jedná se o jednu z nejvýznamnějších zkoušek rozváděčů, během které nesmí dojít k žádnému průraznému výboji. [2]

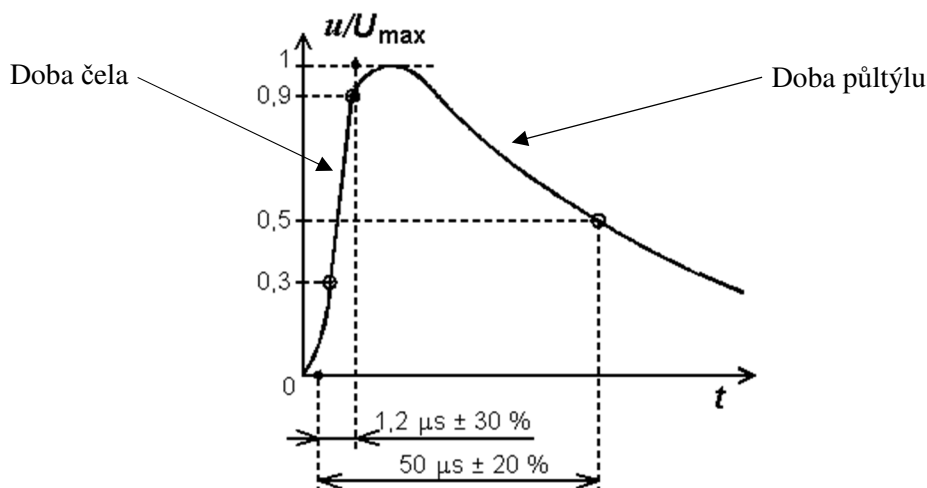
Tato zkouška se provádí pomocí generátoru napětíových rázů. Hodnoty zkušebních napětí jsou uvedeny v Tab. 6.2. Přesnost jakou je nutné dodržet při přiloženém vrcholovém napětí je $\pm 3 \%$. [2]

Tab. 6.2: Impulzní výdržná zkušební napětí. [2]

Jmenovité impulzní výdržné napětí U_{imp} (kV)		Zkušební napětí a odpovídající nadmořské výšce během zkoušky								
		AC vrcholová hodnota a DC $U_{1,2/50}$ (kV)				AC efektivní hodnota (kV)				
	Hladina moře (m)	200	600	1000	2000	Hladina moře (m)	200	500	1000	2000
2,5	2,95	2,8	2,8	2,7	2,5	2,1	2	2	1,9	1,8
4	4,8	4,8	4,7	4,4	4	3,4	3,4	3,3	3,1	2,8
6	7,3	7,2	7	6,7	6	5,1	5,1	5	4,7	4,2
8	9,8	9,6	9,3	9	8	6,9	6,8	6,6	6,4	5,7
12	14,8	14,5	14	13,3	12	10,5	10,3	9,9	9,4	8,5

Zkoušení se převážně provádí mezi všemi navzájem spojenými živými částmi rozdílných potenciálů hlavního obvodu. Dále pak mezi neživými částmi a hlavními kontakty všech spínacích přístrojů v zapnuté poloze. [2]

Pomocné obvody, které nejsou připojené k hlavním obvodům, musí být spojené se zemí a na rozváděč musí být přiložené impulsní napětí 1,2/50 μ s pětikrát pro každou polaritu v intervalech 1 s. Impulsní napětí je naznačeno na Obr. 6.1. [2]



Obr. 6.1: Průběh impulzivního výdržného napětí. [2]

Základní parametry u rázové vlny jsou vrcholová hodnota, doba čela a doba půltýlu. Nejdůležitější je doba půltýlu, protože když doba půltýlu bude příliš krátká, tak je izolace vystavena rázovému napětí relativně krátkou dobu, a tím pádem ho může vydržet. Pokud bude izolace vystavena napětí delší dobu, tak se může stát, že izolace nevydrží. [2]

Je třeba zmínit i životností zkoušku, která by měla garantovat životnost zařízení až 20 let při jmenovitém napětí. Tato zkouška se provádí na vyšší napěťové hladině po dobu 1 minuty, říká se jí jednominutová střídavá zkouška. [2]

Zkušební napětí musí mít sinusový tvar o kmitočtu v rozmezí 45 Hz až 65 Hz. Pro takovou zkoušku je používán tzv. vysokonapěťový transformátor, který musí být navržen tak, aby výstupní proud byl minimálně 200 mA při spojení výstupních svorek nakrátko. [2]

Důležitou podmínkou při dimenzování izolace je vhodný výběr druhu izolace. Nejlevnější a nejrozšířenější izolant je vzduch (z těchto důvodů se jim říká vzdušné vzdálenosti). Čímž přichází i úkol řešit i tvar elektrického pole, který závisí na izolantu a tvaru elektrod. Velkou roli u tohoto problému hraje i nehomogenita elektrického pole, protože se může stát, že vzduch už nebude vyhovovat. To lze zjistit pomocí počáteční hodnoty korónového výboje, který má za následek degradaci izolace. [2]

Mezi další zkoušky konstrukčních částí patří tyto kategorie: [2]

- Ochrana před úrazem el. proudem
- Vestavení vestavných částí
- Vnitřní elektrické obvody a spoje
- Svorky pro vnější vodiče
- Mechanické funkce

Zahrnuje kontrolu účinností mechanických ovládacích prvků, blokovacích zařízení a také zámků, včetně těch, které jsou spojeny s odnímatelnými částmi.

Zkoušky technických parametrů: [2]

- Dielektrické vlastnosti

Jedná se o zkoušku odolnosti při průmyslovém kmitočtu, která musí být prováděna na všech obvodech avšak po dobu 1 s. [2]

Tato zkouška se nemusí provádět na pomocných obvodech, které jsou chráněny zařízeními jistícími před zkratem se jmenovitým proudem nepřesahující 16 A, a také pokud zkouška elektrické funkce byla předtím provedena při jmenovitém pracovním napětí, pro něž jsou pomocné obvody navrženy.

U rozváděčů, které mají přívody chráněny do 250 A, může být ověřování izolačního odporu prováděno měřením za použití přístroje pro měření izolace při napětí 500 V ss. Izolační zkouška je úspěšná pokud je mezi obvody a neživými částmi izolační odpor nejméně 1000 Ω/V vzhledem k napájecímu napětí vůči zemi. [2]

- Správnost zapojení
- Pracovní charakteristiky a funkce

6.3 Trvalé oteplení

Mezi základní požadavky patří maximální dovolené oteplení všech spojů, pracovních kontaktů, konstrukčních dílů, především dílů izolačních, a to jak při trvalém chodu se jmenovitým proudem, tak při zkratech nebo přetížení s krátkodobým oteplením. V těchto případech dimenzování závisí na volbě průřezů vodičů, správného návrhu kontaktního systému, a způsobu chlazení, což znamená správný odvod tepla, z čehož můžeme vypočítat dovolené oteplení nebo tuto záležitost lze řešit experimentálně, a to měřením na modelu nebo na reálném výrobku. [2]

Rozváděče musí být dimenzovány tak aby nebyly překročeny dovolené mezní hodnoty oteplení, které jsou naznačeny v Tab. 6.3. Tyto meze oteplení platí pro střední teplotu okolního vzduchu do 35 °C. [2]

Tab. 6.3: Meze oteplení. [2]

Části rozváděče	Oteplení (K)	
Vestavné součásti (přístroje)	Musí být v souladu s požadavky norem. Teplotu jednotlivých komponentů určuje výrobce.	
Svorky pro vnější izolované vodiče	70 K	
Přípojnice a vodiče	Omezeno: Mechanickou odolností. Možným působením na okolní zařízení. Dovolenou hodnotou oteplení izolačního materiálu. Působení teploty vodiče připojené na přístroje.	105 K pro holé měděné přípojnice a vodiče

	U zásuvných kontaktů je to dáno druhem a povrchovou úpravou kontaktního materiálu.	
Ruční ovládací prostředky:		Ovládací zařízení, které bývají používány až po otevření rozv.
z kovu	15 K	40 K
z izolačního materiálu	25 K	50 K
Přístupné vnější skříně a kryty:		U krytů kterých není nutno se jich za normálním provozu dotýkat
kovové povrchy	30 K	40 K
izolační povrchy	40 K	50 K

6.4 Zkratová a dynamická odolnost

Proudovodná dráha a celková konstrukce musí odolávat mezním hodnotám zkratového proudu a jeho silovým účinkům. Dle těchto požadavků jsou dimenzovány následující parametry: průřez vodičů, uspořádání vodičů (vzdálenost mezi fázemi), odolnost kontaktů proti svaření. Ověření správné funkčnosti rozvodny nebo rozváděče se zajišťuje na zkratovně, kde se u daného zařízení přivede přímý zkrat na vývodech nebo na přípojnících. [1]

U rozváděčů, které obsahují zařízení jistící proti zkratu vestavné do přívodní jednotky, je výrobce povinen uvést maximální přípustnou hodnotu předpokládaného zkratového proudu na vstupních svorkách rozváděče. [2]

U rozváděčů kde jistící zařízení vůči zkratu není vestavěno do přívodní jednotky, je výrobce povinen uvést zkratovou odolnost následujícími způsoby: [2]

- Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (I_{cw}) společně s dobou trvání (t_k) a jmenovitý dynamický proud (I_{pk})
- Jmenovitý podmíněný zkratový proud (I_{cc})

Pro doby trvání zkratu maximálně 3 s je vztah mezi jmenovitým krátkodobým proudem a příslušnou dobou trvání dán následujícím výrazem.

$$I^2 \cdot t = konst. \quad (6.1)$$

6.5 Odolnost proti vnějším vlivům

Aby návrh vůči vnějším vlivům mohl být správně udělán, je nutné vědět, jakým podmínkám bude rozváděč vystaven.

Pokud jsou tyto informace o daném prostředí k dispozici, je možné začít výběrem vhodné konstrukce, poté následuje výběr stupně krytí nebo definování ochrany před nebezpečným dotykem, polohou nebo zábranou. [2]

Jedním z vnějších vlivů je i ÚV zařízení, které může ovlivnit funkci a konstrukci rozváděče určeného do vnějšího prostředí. Může se jednat jak o plastový rozváděč (z izolačního materiálu,) tak i o plechový (pokrytý syntetickým materiálem). ÚV zkouška trvá 500 h a u plastových skříní jsou kontrolovány houževnatost a pevnost v tahu. U plechových skříní se kontrola zaměřuje na přilnavost syntetického materiálu a dále nesmí být v žádných místech patrné trhliny materiálu. Zkoušky ÚV jsou prováděny na šesti zkušebních vzorcích. [2]

Toto opatření nemusíme provádět, pokud výrobce udává informace od dodavatele materiálu, že tyto zkoušky už byly na těchto materiálech prokázány. [2]

6.6 Spolehlivost a životnost

Jedná se o další parametr, který je nutné dodržovat při návrhu rozvodny nebo rozváděče. Patří tam definování doby bezúdržbového provozu. Dále tam lze zařadit požadované intervaly revizí a protokoly o údržbě zařízení, které je povinen dodat výrobce rozváděče. Protokol o údržbě definuje, v jakých časových intervalech se má na daném zařízení provést údržba. Jedná se například o výměnu některých součástí, které se vlivem používání opotřebí do takového stavu, kdy už nemůže být zajištěna garance dobré funkce. Dále je zde možné zahrnout vizuální kontrolu spínacích přístrojů a jejich součástí. [1]

V dnešní době je snahou vyrobit dané zařízení bezúdržbově, což znamená, že zákazník, který si daný rozváděč koupí, má zakázáno do daného zařízení jakkoliv zasahovat. Při poruše je výrobce povinen zjistit příčinu dané poruchy. [2]

7 Základní způsoby šíření tepla

Základní úvahou je, že pokud jsou různá místa tělesa s různou teplotou, dochází k přestupu tepla z míst vyšší teploty do míst, kde je nižší teplota. Podobně je tomu tak, když je více těles, které se nacházejí v těsné blízkosti nebo jsou od sebe oddělena určitým prostředím, například plynem nebo kapalinou. Proces, při kterém se vyrovnávají teploty obou těles, se nazývá sdílení tepla, které může probíhat třemi způsoby, vedením, prouděním nebo sáláním. [5]

Přestup tepla vedením

Vedení tepla kondukcí probíhá z jedné části tělesa do druhé. S tímto druhem je možné se setkat převážně v tuhých látkách. [5]

Přestup tepla prouděním

Konvekce je charakterizována přenosem tepla pohybem částic kapaliny nebo plynu. Proudění lze rozdělit do dvou kategorií a to na proudění volné nebo nucené. Volné proudění probíhá tehdy, jestliže pohyb částic prostředí je způsobeno pouze teplotními rozdíly. Nucené proudění nastává, pokud pohyb částic je způsoben uměle, např. ventilátorem nebo čerpadlem. [5]

Přestup tepla zářením

Při tepelné radiaci se teplo šíří pomocí elektromagnetických vln. Při tomto druhu šíření tepla, množství vyzařené energie závisí na teplotě povrchu, rozměrech tělesa, druhu povrchu a vzájemné poloze jednotlivých těles. Vnější povrch ohřátého tělesa vyzařuje teplo na okolní tělesa, ale například kapaliny nebo tuhá tělesa nepropouští téměř žádné tepelné záření, proto se kapalinách sdílí teplo pouze prouděním. [5]

7.1 Výpočet přestupu tepla z povrchu teplého tělesa do okolního prostředí

Předchozí kapitola pojednávala o zásadních pravidlech při dimenzování rozváděčů a mezi ně jsou samozřejmě zařazena i patřičná opatření vůči oteplení. V praxi se lze setkat s případem, kdy potřebujeme vědět, jaké je oteplení povrchu jakéhokoliv el. zařízení (v našem případě se jedná o rozváděč nn) vůči teplotě okolního prostředí, jenž obsahuje plyn nebo kapalinu. V tomto případě se rozváděč vyskytuje ve venkovním prostředí, takže okolní chladicí médium bude vzduch. [5]

Existuje mnoho způsobů jak oteplení zjistit, například experimentálním měřením nebo výpočtem. Tato část diplomové práce bude zaměřena hlavně na výpočtové metody a z těchto důvodů je nutné uvést jednu ze základních rovnic. [5]

Newtonova rovnice [5]

$$P = \alpha \cdot S \cdot (\vartheta - \vartheta_0) \quad (7.1)$$

Kde [5]

P – tepelné ztráty odevzdané do prostředí prouděním a sáláním (W)

S – povrch tělesa předávající teplo (m²)

ϑ – teplota povrchu tělesa (°C)

ϑ_0 – teplota prostředí (°C)

α – součinitel přestupu tepla (W·m⁻²·K⁻¹)

Součinitel přestupu tepla α lze vyjádřit jako ztráty ve wattech, které okolnímu prostředí předá 1 m² chladícího povrchu tělesa, při rozdílu teploty tělesa a prostředí 1 °C. Je důležité však zdůraznit, že součinitel závisí na mnoha faktorech a to na hustotě, povrchu a jeho způsobu opracování, tepelné vodivosti, viskozitě, tepelné kapacitě a tvaru materiálu. [5]

Součinitele přestupu tepla je možné zjistit z mnoha materiálu, ale je nutné zdůraznit, že platí pouze za předpokladu konstantního oteplení. Pokud se ale teplota povrchu tělesa s časem mění, mění se i okamžitá hodnota součinitele přestupu tepla. V těchto případech je možné si výpočty zjednodušit podmínkou, že součinitel se nemění a jeho hodnota je konstantní během celého přechodového děje. Toto zjednodušení lze vyjádřit následující rovnicí. [5]

$$P = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{\frac{1}{\alpha \cdot S}} \quad (7.1.1)$$

Vztah je duální s Ohmovým zákonem pro elektrický proud. Výraz ve jmenovateli vyjadřuje tepelný odpor při přestupu tepla z povrchu do okolního prostředí. [5]

7.2 Přechodový děj při oteplování tělesa působením tepelného zdroje, uvnitř tělesa

Veškerá zařízení v elektrotechnice (stroje, přístroje nebo rozváděče) jsou tělesa, která v sobě mají zdroj tepelného toku (proud). [5]

Při dodržení níže uvedených podmínek lze provést odvození základních rovnic: [5]

- Teplota všech bodů tělesa je v libovolném okamžiku stejná.
- Tepelná kapacita tělesa nezávisí na okamžitém oteplení tělesa a je pro všechna místa stejná.
- Součinitel přestupu tepla nezávisí na okamžitém oteplení tělesa a je pro všechna místa stejný.

Jednou ze základních rovnic, pomocí nichž lze vyjádřit tepelný děj, je rovnice tepelné rovnováhy.

$$Pdt = Cd(\Delta\vartheta) + \alpha S \Delta\vartheta dt \quad (7.2)$$

Tento vztah vyjadřuje, že za okamžik dt vniká tepelná energie, jejíž jedna část se spotřebuje na zvýšení teploty tělesa $Cd(\Delta\vartheta)$ a zbývající část vyjadřuje přestup tepla do okolního prostředí $\alpha S \Delta\vartheta dt$. [5]

Po úpravě na diferenciální tvar je zjištěna následující rovnice pro výpočet oteplování tělesa. [5]

$$\frac{d(\Delta\vartheta)}{dt} + \frac{\alpha S}{C} \Delta\vartheta - \frac{P}{C} = 0 \quad (7.3)$$

Obecné řešení rovnice 7.3 je možné psát ve tvaru. [5]

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_1 + \Delta\vartheta_2 \quad (7.4)$$

Kde. [5]

$$\Delta\vartheta_1 = \frac{P}{\alpha S} \quad (7.5)$$

A $\Delta\vartheta_2$ je dáno integrací následujícího členu. [5]

$$\frac{d(\Delta\vartheta_2)}{dt} + \frac{\alpha S}{C} \Delta\vartheta_2 = 0 \quad \Delta\vartheta_2 = Ae^{-t/T} \quad (7.6)$$

Kde konstanta A je určena počátečními podmínkami. Součin tepelné kapacity C a tepelného odporu $1/\alpha S$ je časová konstanta $T = C/(\alpha S)$. Dosazením rovnic (7.5 a 7.6) do rovnice (7.4) a následnou úpravou lze získat tento tvar. [5]

$$\Delta\vartheta = \frac{P}{\alpha S} + Ae^{-t/T} \quad (7.7)$$

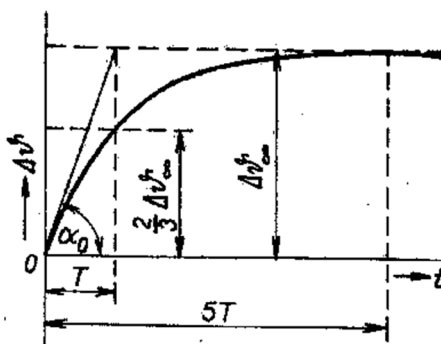
Dále je potřeba stanovit činitele A , k čemuž je nutné určit následující podmínky. Pro $t = 0$ musí být oteplení $\Delta\vartheta = 0$, z čehož je možné vyjádřit následující rovnici. [5]

$$0 = \frac{P}{\alpha S} + A \rightarrow A = -\frac{P}{\alpha S} \quad (7.8)$$

Dosazením a správnou úpravou je konečný tvar rovnice následující. [5]

$$\Delta\vartheta = \frac{P}{\alpha S} (1 - e^{-t/T}) \quad (7.9)$$

Na základě rovnice 7.9 je možné znázornit následující děj, pro který platí, že $t \rightarrow \infty$. [5]



Obr. 7.1: Oteplovací průběh homogenního tělesa. [5]

Pro Obr. 7.1 platí následující vztah. [5]

$$\Delta\vartheta_{\infty} = \frac{P}{\alpha S} \quad (7.10)$$

Dosažením do rovnice 7.9 lze získat tento tvar. [5]

$$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_{\infty}} = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \quad (7.11)$$

Oteplení $\Delta\vartheta_{\infty}$ představuje oteplení v ustáleném stavu, o kterém lze říci, že tepelná energie přestupuje z povrchu tělesa do okolí. Za tohoto předpokladu musí platit následující výraz. [5]

$$\Delta\vartheta_{\infty} = \frac{P}{\alpha S} = konst \quad (7.12)$$

Z rovnice 7.11 vyplývá následující tvar. [5]

$$\left(\frac{d(\Delta\vartheta)}{dt}\right)_{t=0} = \frac{\Delta\vartheta_{\infty}}{T} \rightarrow T = \frac{\Delta\vartheta_{\infty}}{\left(\frac{d(\Delta\vartheta)}{dt}\right)_{t=0}} \quad (7.13)$$

Tečna, která je vedena ke křivce $\Delta\vartheta(t)$ z počátku souřadnic, vytíná $\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{\infty}$, což je úsek, který určuje ve zvoleném měřítku časovou konstantu T . Při podmínce, že $t = T$ lze psát následující výraz. [5]

$$\frac{\Delta\vartheta_T}{\Delta\vartheta_{\infty}} \approx \frac{2}{3} \quad (7.14)$$

Podle výše uvedeného vztahu lze časovou konstantu T určit jako dobu potřebnou k dosažení přibližně dvou třetin teploty ustáleného stavu, z čehož je možné s poměrně velkou přesností předpokládat, že se teplota ustálí za dobu $5T$. [5]

Dalším případem je, že ohřev tělesa probíhá bez sdílení tepla okolnímu prostředí. Tento stav je popsán následovně. [5]

$$Pdt = Cd(\Delta\vartheta) \quad (7.15)$$

Z čeho vyplývá. [5]

$$\Delta\vartheta = \frac{P}{C} t \quad (7.16)$$

Jelikož je vycházeno z následujících rovnic. [5]

$$P = \alpha S \Delta\vartheta \quad a \quad T = \frac{C}{\alpha S} \quad (7.17)$$

Lze psát výsledný vztah. [5]

$$\Delta\vartheta = \frac{\Delta\vartheta_{\infty}}{T} t \quad (7.18)$$

Závěrem lze říct, že tento postup je velmi zjednodušený, protože v elektrickém zařízení mají různá místa různou teplotu, čímž dochází k vzájemnému sdílení tepla, což může výsledný výpočet značně komplikovat. Mezi další problémy patří součinitel přestupu tepla, o němž bylo předpokládáno, že zůstává během oteplování konstantní. Tato podmínka však neplatí v reálu, protože součinitel přestupu tepla závisí na okamžité hodnotě oteplení povrchu tělesa oproti okolnímu prostředí. Dále závisí na rychlosti změny teploty povrchu tělesa. [5]

V praktických případech je nutné se zabývat oteplením v ustáleném stavu, kdy se teplota určité části elektrického zařízení nemění a dále je nutné se soustředit na přechodový děj, kdy oteplení sledovaného místa nabývá postupně různých hodnot. [5]

7.3 Šíření tepla z povrchu tělesa při sdílení tepla konvekci

1. Volné proudění v neohraničeném prostoru

Pokud je řešeno tepelné proudění, je nutné se zabývat tepelnými i hydrodynamickými ději. K určení teploty tělesa se sestavuje systém diferenciálních rovnic, které popisují tepelné a dynamické poměry v uvažovaném prostředí. Problém nastává při řešení takové soustavy, které bývá často velmi zdoluhavé a obtížné. Z těchto důvodů se pro zajištění správného řešení a zjištění součinitele přestupu tepla používá teorie podobnosti, čímž je možné se vyhnout řešení celého systému diferenciálních rovnic. [5]

Tato teorie se dá principiálně popsat tak že, pokud se budou řešit dva fyzikální jevy, tak jejich podobnost je zajištěna tehdy, jestliže poměr sobě odpovídajících fyzikálních veličin, které charakterizují daný proces, je konstantní. Tyto poměry (výsledná čísla) jsou označovány jako činitele podobnosti. [5]

Pro názorný příklad je možné si zde uvést jednoduchý případ pro děje probíhající při oteplování homogenních vodičů elektrického proudu. [5]

Je vycházeno ze základních rovnic. [5]

$$\begin{aligned} R_1 I_1^2 dt_1 &= c_1 G_1 d(\Delta\vartheta_1) + k_1 S_1 \Delta\vartheta_1 dt_1 \\ R_2 I_2^2 dt_2 &= c_2 G_2 d(\Delta\vartheta_2) + k_2 S_2 \Delta\vartheta_2 dt_2 \end{aligned} \quad (7.19)$$

Nyní jsou zavedeny jednotlivé činitele podobnosti. [5]

$$\begin{aligned} m_i &= \frac{I_1}{I_2}; \quad m_R = \frac{R_1}{R_2}; \quad m_c = \frac{c_1}{c_2}; \quad m_G = \frac{G_1}{G_2} \\ m_t &= \frac{t_1}{t_2}; \quad m_{\Delta\vartheta} = \frac{\Delta\vartheta_1}{\Delta\vartheta_2}; \quad m_k = \frac{k_1}{k_2}; \quad m_S = \frac{S_1}{S_2} \end{aligned} \quad (7.20)$$

Rovnice 7.19 lze převést na bezrozměrný tvar. [5]

$$\begin{aligned}\frac{R_1 I_1^2}{k_1 S_1 \Delta \vartheta_1} &= 1 + \frac{c_1 G_1}{k_1 S_1 \Delta \vartheta_1} \cdot \frac{d(\Delta \vartheta_1)}{dt_1} \\ \frac{R_2 I_2^2}{k_2 S_2 \Delta \vartheta_2} &= 1 + \frac{c_2 G_2}{k_2 S_2 \Delta \vartheta_2} \cdot \frac{d(\Delta \vartheta_2)}{dt_2}\end{aligned}\quad (7.21)$$

Pokud jsou převedeny rovnice 7.20 do rovnic 7.21, lze dostat následující vztahy. [5]

$$\begin{aligned}\frac{m_i^2 I_1^2 m_R R_1}{m_k k_1 S_1 m_{\Delta \vartheta} \Delta \vartheta_1} &= 1 + \frac{m_c c_1 m_G G_1}{m_k k_1 S_1 m_{\Delta \vartheta} \Delta \vartheta_1} \cdot \frac{m_{\Delta \vartheta}}{m_t} \frac{d(\Delta \vartheta_1)}{dt_1} \\ \frac{m_i^2 I_2^2 m_R R_2}{m_k k_2 S_2 m_{\Delta \vartheta} \Delta \vartheta_2} &= 1 + \frac{m_c c_2 m_G G_2}{m_k k_2 S_2 m_{\Delta \vartheta} \Delta \vartheta_2} \cdot \frac{m_{\Delta \vartheta}}{m_t} \frac{d(\Delta \vartheta_2)}{dt_2}\end{aligned}\quad (7.22)$$

Rovnice 7.22 a 7.21 jsou stejné, pokud platí následující výrazy. [5]

$$\frac{m_i^2 m_R}{m_k m_S m_{\Delta \vartheta}} = 1 \quad a \quad \frac{m_c m_G}{m_k m_S m_t} \quad (7.23)$$

Dle činitelů podobnosti lze stanovit podmínky v níže uvedeném tvaru. [5]

$$\frac{I_1^2 R_1}{k_1 S_1 \Delta \vartheta_1} = \frac{I_2^2 R_2}{k_2 S_2 \Delta \vartheta_2} = \pi_1 \quad a \quad \frac{c_1 G_1}{k_1 S_1 t_1} = \frac{c_2 G_2}{k_2 S_2 t_2} = \pi_2 \quad (7.24)$$

Nyní může být využito výsledku z rovnice 7.18 a lze získat následující tvary. [5]

$$\frac{\Delta \vartheta_{\infty 1}}{\Delta \vartheta_1} = \frac{\Delta \vartheta_{\infty 2}}{\Delta \vartheta_2} = \pi_1 \quad (7.25)$$

$$\frac{T_1}{t_1} = \frac{T_2}{t_2} = \pi_2 \quad (7.26)$$

Výše uvedené vztahy jsou nazývány kritéria podobnosti, a pokud přechodné děje mají probíhat stejně, musí platit tyto podmínky. (vztahy 7.25 a 7.26). Kritéria jsou vyjadřována jako soubor veličin, které charakterizují daný jev. U rovnice 7.19 lze vidět, že její horní část popisuje děj ve zkoumané soustavě, ale její spodní část popisuje model soustavy. Z měření na modelu a pomocí kritérií podobnosti je možné zjistit oteplení $\Delta \vartheta_1$ v kterémkoliv okamžiku, aniž by bylo nutné řešit složitou soustavu diferenciálních rovnic 7.19. [5]

Tento způsob řešení byl velmi zjednodušený, ale podobným způsobem je možné zjistit kritéria podobnosti u složitějších případů jako je například šíření tepla volným nebo nuceným prouděním teplého tělesa do plynného nebo kapalného prostředí. [5]

V případě volného proudění lze zapsat následující bezrozměrná podobnostní čísla. [5]

Číslo Nusseltovo [5]

$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda} \quad (7.27)$$

Číslo Grasshoffovo [5]

$$Gr = \beta g \frac{L^3}{\gamma^2} (\vartheta - \vartheta_0) \quad (7.28)$$

Číslo Prandtlovo [5]

$$Pr = \frac{\mu g c_p}{\lambda} \quad (7.29)$$

Kde [5]

α – součinitel přestupu tepla ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

L – charakterizující rozměr tělesa

λ – součinitel tepelné vodivosti kapaliny nebo plynu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

β – součinitel tepelné roztažnosti kapaliny nebo plynu ($1/^\circ\text{C}$)

g – tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

ϱ – měrná hmotnost kapaliny nebo plynu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

μ – dynamická viskozita kapaliny nebo plynu ($\text{Ns} \cdot \text{m}^{-2}$)

c_p – měrné teplo při stálém tlaku (plynu) ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ϑ – teplota povrchu tělesa ($^\circ\text{C}$)

ϑ_0 – teplota prostředí (plyn nebo kapalina) ($^\circ\text{C}$)

Pro výpočet oteplovacího děje je nutné znát součinitele přestupu tepla, kterého lze určit pomocí Nusseltova čísla. Tato teorie podobnosti dokazuje, že Nusseltovo číslo je funkcí Grasshoffova a Prandtlova čísla. Tyto závislosti jsou nazývány kritériální rovnice a určit je analyticky je velmi těžké a proto se v těchto případech využívá experimentu. [5]

Pro názorný příklad je možné si uvést jednu z kritériálních rovnic pro součinitele přestupu tepla při volném proudění mezi povrchem tělesa a prostředím. [5]

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)_s^n \quad (7.30)$$

Po dosazení rovnic 7.27; 7.28; 7.29 do kritériální rovnice 7.30 lze dostat tento výraz. [5]

$$Nu = c(A \cdot L^3(\vartheta - \vartheta_0))_s^n \quad (7.31)$$

Kde c a n jsou konstanty, které závisí na součinu Gr a Pr a index s označuje, že při volbě hodnot všech konstant předpokládáme střední hodnotu teploty povrchu tělesa a prostředí, kterým je obkloповáno. [5]

Činitel A vychází z příslušných závislostí oteplení pro různá prostředí (vzduch, voda, transformátorový olej) a je přímo úměrný součiniteli objemové roztažnosti, tíhovému zrychlení a

nepřímo úměrný kinematické viskozitě daného prostředí (poměr dynamické viskozity a měrného tepla při konstantním tlaku). [5]

Z rovnice 7.29 je patrné, že pomocí ní lze určit Nusseltovo číslo, které je možné dosadit do rovnice 7.27 a vyjádřit součinitele přestupu tepla. [5]

Vztah 7.30 lze upravit pro případ, kdy se pracuje s tekutinami. Vychází-li tepelný tok z povrchu do kapaliny tak těleso chladne, v opačném případě, kdy tepelný tok směřuje z kapaliny do tělesa, tak se těleso ohřívá. Vztah vypadá následovně. [5]

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)_s^n \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right) \quad (7.32)$$

Prandtlovo číslo kapaliny se zmenšuje se zvyšováním teploty, a jestliže je teplota tělesa vyšší než teplota okolní kapaliny je $Pr_w < Pr_f$ v opačném případě platí $Pr_w > Pr_f$. Tento jev se nevyskytuje u plynů, u nichž platí, že poměr Prandtlových čísel je přibližně jedna. [5]

Výše uvedené vztahy a podmínky platí pro případy ochlazování nebo oteplování, kdy pohyb plynu nebo kapaliny proudí kolem povrchu v neomezeném prostoru. Jednotlivé částice plynu nebo kapaliny, které mají za úkol odebrat teplo z povrchu tělesa, se po přemístění do větších vzdáleností od tělesa ochlazují, z čehož lze konstatovat, že ohřev a ochlazování probíhá nezávisle na sobě. Pokud se ale teplo šíří v ohraničeném prostoru, tak probíhají oba děje ve vzájemné blízkosti, tudíž nastává tzv. nucená konvekce. [5]

2. Vynucené proudění v ohraničeném prostoru

S tímto jevem se setkáme, jestliže je využito ventilátoru, kde je jako chladící médium vzduch nebo čerpadlo, pokud se využívá voda. Pomocí těchto nebo i jiných zařízení, lze značně zvětšit rychlost částic chladicího prostředí vzhledem k povrchu tělesa v porovnání s případem, kdy tuto rychlost určuje pouze rozdíl teplot prostředí. Při vynuceném proudění dochází k většímu odběru tepla z teplejšího povrchu. Z teoretických rozborů a experimentů vyplývá, že součinitel šíření tepla závisí na tzv. Reynoldsově čísle. Toto číslo lze popsat následujícím vztahem. [5]

$$Re = \frac{wL}{\nu} \quad (7.33)$$

Kde w je rychlost pohybu částic kapaliny nebo plynu. [5]

Velikost Reynoldsova čísla určuje i jaký charakter má pohyb daných částic prostředí. Kritická hodnota tohoto čísla udává, že se jedná o proudění laminární. Pokud je tato hodnota převyšena, dochází k proudění turbulentnímu, při kterém se částice pohybují po složitých neuspořádaných trajektoriích, což zvětšuje součinitele přestupu tepla prouděním. [5]

Kritická hodnota Reynoldsova čísla se liší v závislosti na tvaru a povrchu tělesa. Všeobecně platí, že Reynoldsovo číslo se pohybuje v intervalech $2000 \leq Re \leq 100000$. Z těchto intervalů vyplývá, že pokud Reynoldsovo číslo je větší či rovno 2000, jedná se o proudění laminární, pokud však tuto hodnotu

překročíme až na hodnotu 10^4 , jedná se o proudění turbulentní. Pro správné řešení součinitele šíření tepla prouděním je povinností znát všechny podstatné rozměry a záhyby povrchu tělesa abychom mohli do kritériální rovnice zakomponovat i číslo Reynoldsovo. Tento vztah se pak pro různé konfigurace liší. [5]

7.4 Šíření tepla z povrchu tělesa při sdílení tepla sáláním

Základní vztah, ze kterého lze vyplývat, má následující tvar. [5]

$$P = \varepsilon \sigma_0 \Theta^4 \quad (7.34)$$

Kde [5]

ε – součinitel sálání (emisivita povrchu)

σ_0 – Stefan-Boltzmannova konstanta, která dosahuje hodnoty $5,67 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Θ – teplota vyzařujícího povrchu (K)

P – sálavý tepelný tok připadající na 1 cm^2 plochy

Tepelná radiace se šíří pomocí elektromagnetických vln, jejichž vlnové délky leží v rozmezí 0,4 až 40 μm . Viditelná část spektra se pohybuje v rozsahu 0,4 – 0,8 μm , což má za následek, že vliv barevných nátěrů povrchu při teplotách do 150 $^\circ\text{C}$ je malý a lze ho zanedbat. Toto tvrzení je doloženo experimenty. [5]

Pevná tělesa a kapaliny nepropouští téměř žádné tepelné záření. U vzduchu je tomu naopak, pokud je nasycen kyslíčkem uhličitým, prachem nebo vodními parami. V tomto případě může docházet k absorpci zářivého toku, čímž můžeme značně zmenšit tepelnou energii dopadající na určitý povrch.

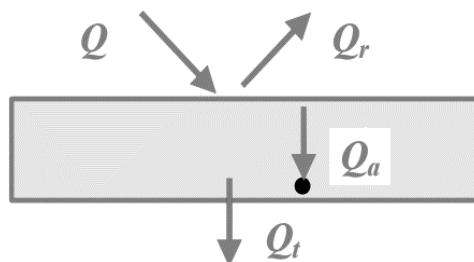
Při dopadu zářivého toku může dojít k odrazu, pohlcení nebo k průchodu toku povrchem tělesa. Je zřejmé, že pro energetickou bilanci platí následující vztah. [6]

$$Q = Q_a + Q_r + Q_t \quad (7.35)$$

Po úpravě dostáváme následující výraz. [6]

$$1 = \frac{Q_a}{Q} + \frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_t}{Q} \quad (7.36)$$

Jak zářivý tok působí na povrch tělesa lze vidět na Obr. 7.2. [6]



Obr. 7.2: Průchod zářivého toku tělesem. [6]

Z výše uvedených vztahů vychází I. Kirchhoffův zákon, který zní následovně. [6]

$$a + r + t = 1 \quad (7.37)$$

Tento způsob šíření tepla je velmi důležitý z hlediska řešení experimentů pomocí termovize, u kterých je důležité znát teplotu na povrchu objektu, čehož se docílí detekcí tepelného záření z povrchů stěn, které jsou snímány. [6]

Princip termovize a používání termovizní kamery bude rozebráno v pozdějších kapitolách.

7.5 Šíření tepla vedením

Vychází se ze základní Fourierovy rovnice [5]

$$dQ = -\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial n} S dt \quad (7.38)$$

Kde [5]

dQ – je množství tepla procházející za dobu dt plochou S ve směru kolmém k ploše S

$\partial \vartheta / \partial n$ – derivace teploty ve směru normály, vedené k ploše S

λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Záporné znaménko v rovnici znázorňuje, že teplo prochází ve směru, v němž klesá teplota, a to kolmo na plochu S . [5]

Pokud jsou poděleny obě strany rovnice 7.38 diferenciálem dt získáme, následující vztah, který udává množství tepla procházející plochou S za časovou jednotku. [5]

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial n} S \quad (7.39)$$

Levou stranu rovnice 7.39 lze označit jako Φ a nazývá se tepelný tok procházející plochou S . Po úpravě je možné získat následující výraz. [5]

$$\frac{\Phi}{S} = \Phi_0 \quad (7.40)$$

Výše uvedený výraz lze označit jako hustotu tepelného toku procházející plochou S . [5]

Při řešení jednotlivých konfigurací (jednoduchá rovinná stěna nebo složená, jednovrstvá válcová stěna nebo složená) je nutné dbát na to, jestli se teplota v určitém místě s časem nemění nebo mění. V těchto případech lze vedení tepla rozdělit na stacionární a nestacionární. [6]

Nestacionární děje lze popsat pomocí parciální diferenciální rovnice, bohužel její řešení je dosti náročné. V dnešní době se už využívá výpočetní techniky pro zjednodušení a úsporu času při výpočtech. Dříve se využívalo přibližných diferenčních metod a jedna z nich je nazývána Schmidtova grafická metoda. [6]

Ve výše uvedených kapitolách byly popsány pouze základní principy šíření tepla. Tato kapitola by však mohla být mnohem více rozšířena, avšak pro naše účely budou tyto teoretické základy stačit. V dnešní době se využívá výpočetních programů nebo měření na skutečných modelech v praxi. Většina těchto metod zjišťování oteplení (ochlazení) se opírá o tyto teoretické poznatky. Další kapitola již bude konkrétnější a bude se věnovat tepelným ztrátám v rozváděči a možnostem jejich eliminace.

8 Tepelné ztráty rozváděčů a možnosti jejich eliminace

Tepelné ztráty jsou jevem, se kterým se lze setkat v každém elektrickém zařízení, mezi něž patří i elektrický rozváděč. Příčinou vzniku ztrát je průchod proudu elektrickým obvodem, respektive mezi jednotlivými přístroji. Mezi hlavní prvky řadíme jističe, stykače, motorové spouštěče, ale je možné sem zařadit např. i frekvenční měniče, které bývají zdrojem nežádoucí tepelné energie. Negativním důsledkem je nárůst teploty jednotlivých prvků, které se vzájemně ovlivňují, a výsledná teplota dosahuje vyšších hodnot, než jsou dovolené teploty. [7]

Vlivem rozdílu teplot mezi proudovodnou dráhou a vnitřním prostorem se vyvolá přestup tepla a poté nárůst vnitřní teploty. Při nárůstu vnitřní teploty je možné sledovat další přestup tepla, a to s vnějším okolím. Tento přestup tepla se po určité době ustálí a vytvoří se tepelná rovnováha, která zapříčiní ustálené rozložení teploty. Cílem tepelného návrhu je dosáhnout optimálního rozložení teploty, tak aby za normálních podmínek nebyly překročené tepelné meze. Tento návrh se dá provést experimentální typovou zkouškou. Bohužel tato zkouška v některých případech může být nemožná nebo cenově nevýhodná, z těchto důvodů se může návrh podložit tepelným výpočtem, kterého lze dosáhnout výpočtovým programem. Tento postup není tak časově i cenově náročný jako typové zkoušky na fyzických rozváděcích. [7]

8.1 Zdroje tepelných ztrát v rozváděči

Každá část proudovodné dráhy, která je vyrobena z běžně dostupných materiálu (nejčastěji měď), klade při průchodu proudu odpor. Činná složka toho proudu způsobuje výkonové ztráty, které se s časem mění na tepelnou energii. Základní vztahy jsou následující. [7]

$$P = R \cdot I^2 \quad (8.1)$$

$$E = P \cdot t \quad (8.2)$$

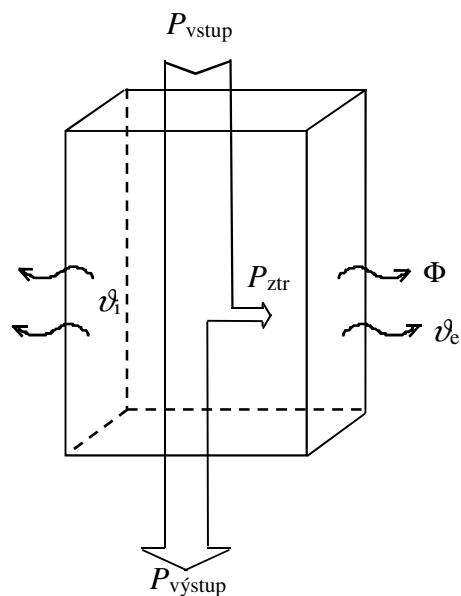
Tepelná energie se projevuje nárůstem teploty proudovodné dráhy a teplotní rozdíl, který vzniká mezi okolním prostředím a proudovodnou dráhou vyvolává tepelný tok. Pokud se vnitřní teplota zvýší, tento jev se projeví tak, že kryt rozváděče se ohřeje. Mezi krytem rozváděče a vnějším okolím vzniká tepelný tok. Tento jev je znázorněn na Obr. 8.1. [7]

Tento jev popisuje Newtonův vztah (7.1) z předchozí kapitoly, jelikož velikost tepelného toku procházející krytem je ovlivněna teplotním rozdílem mezi vnitřním a vnějším prostředím, součinitelem přestupu tepla a plochou krytu. [7]

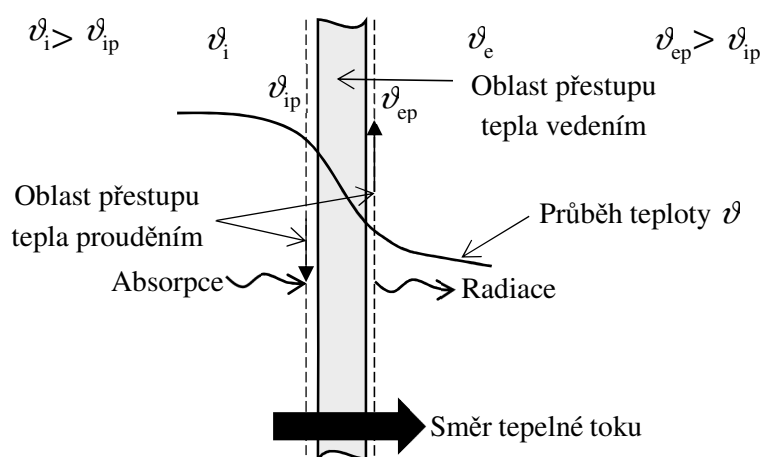
Jak bylo již zmíněno v kapitole o šíření tepla, tak největším problémem je určení součinitele přestupu tepla. V případě rozváděče záleží jakým způsobem je instalován a také jaké jsou vnější vlivy. Tato fakta se při výpočtu musí respektovat. [7]

Výsledné rozložení teplot na rozhraní vnitřního a vnějšího prostředí je také ovlivněné tepelnou vodivostí použitého materiálu krytu. [7]

Na Obr. 8.2 lze vidět řez stěnou rozváděče, ve kterém můžeme vidět rozložení teploty na rozhraní dvou prostředí a všechny druhy šíření tepla, které na kryt působí.



Obr. 8.1: Tepelné toky v rozváděči. [7]



Obr. 8.2: Rozložení teploty na rozhraní vnitřního a vnějšího prostředí. [8]

Kde [7]

P_{vstup} – elektrický výkon vstupující do rozváděče (W)

P_{ztr} – ztrátový výkon vnitřního vybavení rozváděče (W)

$P_{\text{výstup}}$ – elektrický výkon vystupující z rozváděče (W)

ϑ_i – vnitřní teplota ($^{\circ}\text{C}$)

ϑ_e – vnější teplota ($^{\circ}\text{C}$)

ϑ_{ip} – teplota vnitřního povrchu krytu ($^{\circ}\text{C}$)

ϑ_{ep} – teplota vnějšího povrchu krytu ($^{\circ}\text{C}$)

Φ – tepelný tok (W)

V dnešní době lze ztrátový výkon v rozváděči určit poměrně snadným způsobem, jelikož většina výrobců elektrických přístrojů tyto hodnoty udává v katalogu. Pokud tomu tak není, lze ztrátový výkon vypočítat z naměřených úbytků napětí při jmenovitém zatěžovacím proudu. Dalším možným způsobem je ztrátový výkon odhadnout z katalogových údajů jiného výrobce, jelikož konstrukce jednotlivých typů elektrických přístrojů se u jednotlivých výrobců příliš neliší. [9]

Nejen přístroje ale i všechny elektrické spoje mohou být zdroji ztrátového výkonu. Tento výkon lze jednoduše vypočítat pomocí odporů vodičů a proudu, který vodiči teče. Nesmí se však zapomínat, že rezistivita se zvyšuje s teplotou proudovodné dráhy. Dalším jevem je skin efekt, měnící se s velikostí průřezu, který také ovlivňuje výsledný odpor. [9]

Jako příklad lze uvést pár hodnot výkonových ztrát u nejpoužívanějších přístrojů. Stykač, který se pohybuje se ztrátovým výkonem v rozmezí od 0,2 W až po 33 W, který pracuje s proudem od 9 do 550 A. U jističů se ztráty pohybují v rozsahu 1 – 6 W se jmenovitým proudem od 0,5 po 63 A. [10]

8.2 Účinný chladič povrch rozváděče

Z mnoha experimentů byli stanoveny tzv. součinitele povrchu b_i , které respektují podmínky, jakým způsobem je rozváděč instalován. Tyto součinitele se musí zakomponovat do výpočtu, který zahrnuje i plochu rozváděče, kterým by se mělo teplo odvádět do okolí. Díky tomu je možné dojít ke skutečné účinné chladič ploše. Výpočet tepelného toku pomocí účinných chladičích ploch umožňuje pracovat se součinitelem přestupu tepla daného materiálu, kterého bylo využito na výrobu rozváděče. Výsledná chladič plocha krytu rozváděče lze napsat následujícím způsobem. [7]

$$A_e = \sum_{i=1}^{i=n} A_{0i} b_i \quad (8.3)$$

Jakým způsobem může být rozváděč instalován a jaký součinitel k jednotlivým typům instalace patří, je možné najít v Tab. 8.1.

Tab. 8.1: Různé typy instalací a jejich součinitele povrchu. [7]

Způsob instalace (umístění) rozváděče	Součinitel b
Kryt je shora přístupný	1,4
Kryt je shora nepřístupný (např. u vestavěných rozváděčů)	0,7
svislý povrch krytu (přední, boční nebo zadní panel) je přístupný	0,9
Zadní a boční přístup povrch je nepřístupný (např. při montáži na stěnu)	0,5
Boční povrch v případě řadových rozváděčů jsou nepřístupné	0,5
Dno rozváděče	nebere se v úvahu

Jelikož je možné zavést parametry účinného chladič povrchu, tak lze vypočítat tepelný tok, který prochází krytem do okolního prostředí. Pro tento výpočet je možné využít součinitele přestupu tepla použitého krytu. Typickými představiteli jsou plastové nebo oceloplechové kryty rozváděčů.

Pro zajímavost lze uvést, že součinitel přestupu tepla pro oceloplechový kryt je $5,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a pro plastový kryt se tato hodnota udává $3,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. [7]

Dále je nutné si uvědomit, že tepelný tok odcházející z krytu rozváděče do okolí je roven ztrátové energii prošlé za jednotku času plochou krytu. Pokud bude dosaženo ustáleného teplotního stavu, tak číselná hodnota toku bude rovna vnitřnímu ztrátovému výkonu. [7]

Pokud do Newtonova vztahu zakomponujeme účinnou chladicí plochu lze tepelný tok vyjádřit níže uvedeným vztahem. [7]

$$\Phi = A_e \cdot \alpha \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad (8.4)$$

8.3 Chlazení rozváděčů

Jelikož se elektrické přístroje a jejich příslušenství neustále zmenšují, tak lze tyto komponenty umísťovat v rozváděči stále těsněji k sobě, což má za následek, že jsou mnohem citlivější na okolní prostředí. Mezi hlavní vnější vlivy patří prach, olej, vlhkost a teplota. [11]

Z předchozích kapitol je patrné, že na odvod ztrátového tepla se kladou stále vyšší nároky a při jejich zanedbání může dojít k selhání vnitřního vybavení při přehřátí. K selhání funkce může dojít i při velmi nízkých teplotách ve spolupráci s vlhkostí, může dojít i k zamrznutí přístrojů. Negativní vliv to má i na elektronické prvky, které jsou velmi citlivé na prudké změny teploty. [10]

Z těchto důvodů je nutné si uvést základní možnosti eliminace tepelných ztrát. V tomto případě lze pracovat s chladicím médiem – vzduch. Možností, kterými lze eliminovat ztráty, je mnoho a v nadcházejících částech budou probrány ty nezákladnější mezi které patří nucené větrání, výměník vzduch/vzduch nebo vzduch/voda a také kompresorové chladicí jednotky. [13] [12]

Nucená ventilace

V těchto případech je nutné dbát na minimální teplotní rozdíl mezi okolím (jeho nejvyšší předpokládanou hodnotou oteplení) a povolenou vnitřní teplotou. Cirkulaci vzduchu lze omezit vnitřnímu přehřátí, čehož lze dosáhnout pomocí elektrického ventilátoru. Výhodou tohoto chlazení je, že je velmi jednoduché a ekonomicky přijatelné. Ventilátor zajišťuje výměnu vzduchu mezi vnitřním a vnějším okolím, který je chladnější než teplota uvnitř rozváděče. [13]

Pro to, aby bylo možné navrhnout správný ventilátor, je nutné znát následující údaje. [13]

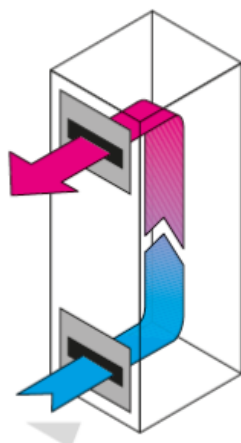
- Ztrátový výkon vnitřní výzbroje rozváděče P_{ztr} .
- Rozdíl mezi požadovanou teplotou uvnitř a maximální předpokládanou teplotou vnějšího prostředí.
- Aktivní ochlazovací povrch.

Pro správnou funkčnost zařízení a jeho maximální životnost budou uvažovány následující požadavky na teplotu vnitřního prostředí rozváděče. [13]

- Teplotní rozmezí $10 - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Relativní vlhkost $30 - 90 \text{ } \%$

Aby tento způsob chlazení byl použitelný, musí být nejmenší rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím 5 °C. Pokud bychom řešili menší teplotní rozdíly nebo byli v situaci, kdy je vnější teplota vyšší než požadovaná teplota uvnitř rozváděče, není použití ventilátoru dostatečné a je nutné využít jinou účinnější metodu. [13]

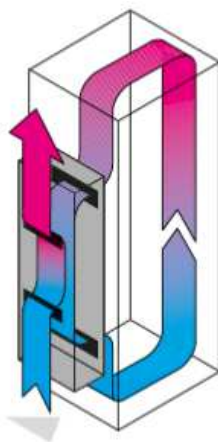
Jednou z nevýhod je vzájemné působení vnějšího a vnitřního prostoru, jelikož jsou tyto prostory vzájemně propojeny. Mezi hlavní nevýhodu lze považovat pronikání prachových částic a plynů z vnějšího prostředí, což má za následek častější údržbu filtrů. Znázornění nucené ventilace pomocí ventilátoru lze vidět na Obr.8.3. [13]



Obr. 8.3: Znázornění principu nucené ventilace. [14]

Tepelný výměník vzduch/vzduch

Dalším typem je výměník vzduch/vzduch, který je charakterizován oddělením vnitřního a vnějšího prostředí, což je jednou z hlavních výhod. Pracují na principu tepelné výměny v mezní části stěny výměníku. Výměníkem je v podstatě teplosměnná kazeta s velkou chladicí plochou, na níž dochází k tepelné výměně. Mezi nevýhodu patří, že se jedná o celkem robustní provedení, což může mít i za následek, že pro chladicí systém je nutné mít větší dispoziční prostor. Mezi nevýhody lze zařadit malý chladicí výkon a častou údržbu filtrů. Tyto nevýhody ale kompenzuje vysoká spolehlivost a malé nároky na údržbu. Princip výměníku s teplosměnnou kazetou je znázorněný na Obr. 8.4. [13]

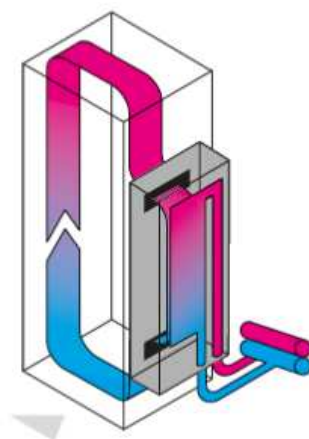


Obr. 8.4: Znázornění principu tepelného výměníku vzduch/vzduch. [14]

Tepelný výměník vzduch/voda

Jedná se o další variantu, jak rozváděče chladit. Oproti výměníku vzduch/vzduch poskytuje větší chladicí výkon. Bohužel nevýhodou je, že pro tento typ je nutné zajistit náročné vodní hospodářství, které může být pro investora cenově nepřijatelné, protože je nutné ošetřit tento systém i proti zamrznutí v zimním období. Díky jejich vysoké účinnosti mají hlavní využití v hutním průmyslu. [13]

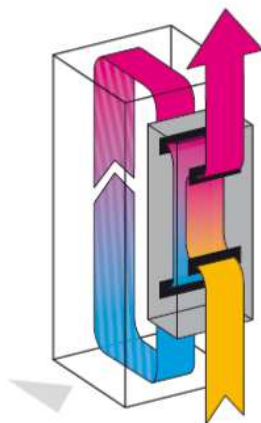
Výsledný chladicí výkon závisí na množství protékající vody a její teplotě. Jelikož se zde pracuje s vodou a elektrickým zařízením, tak je využíváno nejvyššího stupně krytí rozváděčů. Stejně jako u výměníků vzduch/vzduch máme v tomto případě dokonale oddělený systém mezi vnitřním a vnějším prostorem rozváděče s minimální údržbou. Schematické znázornění chladicí jednotky je zřejmé z Obr. 8.5. [13]



Obr. 8.5: Znázornění principu tepelného výměníku vzduch/voda. [14]

Chladicí kompresorová jednotka

Tuto možnost lze využít v extrémních situacích, kdy je teplota okolí vyšší než požadovaná teplota uvnitř rozváděče. Tyto jednotky jsou schopné dodat chladicí výkon až 3 kW, který je schopen odvádět teplo vznikající u jednotlivých přístrojů ale i teplo, které proniká povrchem rozváděče vlivem vnějšího prostředí dovnitř. Tento systém je použitelný do maximální teploty okolí 55°C s možností, že minimální teplota uvnitř dosahuje 20 °C. Jejich hlavní nevýhodou je riziko kondenzace vodních par na vnitřních stěnách rozváděče. Tato situace výměny tepla je znázorněna na Obr. 8.6. [13]



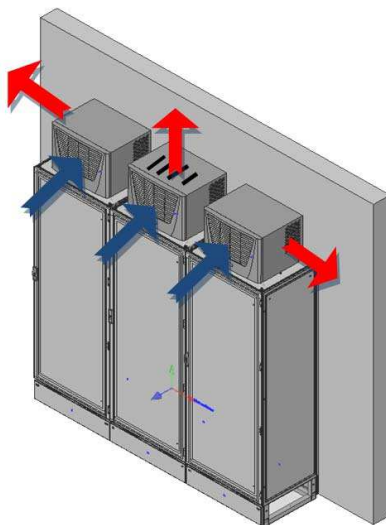
Obr. 8.6: Znázornění principu chladicí jednotky. [14]

V předchozí části byly uvedeny možnosti chlazení rozváděčů proti vysokým teplotám. Může se však stát, že podmínky okolí budou takové, že by docházelo ke kondenzaci vodních par (příliš vysoká relativní vlhkost ve vzduchu), kdy teplota okolního prostředí bude nižší než požadovaná minimální teplota uvnitř rozváděče. V těchto případech je využito teploty prostředí pomocí topných odporů. Toto řešení je ekonomicky přívětivé a spolehlivé. Nevýhodou je zvýšení spotřeby elektrické energie a vyšší nároky na vnitřní prostory uvnitř rozváděčové skříně. [14]

Zásady umístování chladících jednotek

Nejprve je důležité si definovat pojmy, jako jsou, vnější a vnitřní cirkulace vzduchu. U vnější cirkulace vzduchu platí, že sací a vyfukovací otvory chladících zařízení by měly být umístěny minimálně 20 cm od stěny nebo od sebe navzájem. Tato vzdálenost je velmi individuální, jelikož záleží na výrobci dané chladicí jednotky a možnosti její instalace mohou být různé. Pro to, aby byla zajištěna bezproblémová cirkulace vzduchu, je nutné, aby zůstal nejméně jeden výstupní otvor vzduchu volný. [11]

Existuje řada možností, jak mohou být chladicí jednotky umístěny. Jednou z nich je umístění na střeše rozváděče. Tyto jednotky jsou řízené pomocí regulátoru a využívají vzduchotechnické nástavce, které zajišťují proudění chladného vzduchu ke kritickým zařízením uvnitř rozváděče. [14] U těchto zařízení je důležité, aby se při větším počtu chladících jednotek upravil směr vyfukovaného vzduchu, aby se jednotlivé chladicí jednotky vzájemně neovlivňovaly. Znázornění střešní ventilace je vyobrazena na Obr. 8.7 [11]



Obr. 8.7: Znázornění střešního chlazení při větším počtu jednotek. [11]

Při vnitřní cirkulaci vzduchu je důležité, aby se chladicí jednotky nemontovaly na stěnu za montážní deskou, jelikož by mohlo dojít ke vzduchovému zkratu, a tím pádem dojde ke znemožnění chladicího cyklu. Pokud se jedná o diagonální průchod chladicího vzduchu, tak je nutné nechat volný prostor minimálně 5 cm mezi vstupními/výstupními otvory a montážní deskou. Při horizontálním průtoku vzduchu je nutné zajistit volný prostor nejméně 20 cm. Pokud to situace nedovolí a je možná montáž jen na zadní straně rozváděče, tak musí být zajištěno, že v montážní desce budou vhodně dimenzovány vstupní a výstupní otvory. [11]

Další variantou jak může být chladicí jednotka umístěna je možnost využití instalace místo dveří rozváděče. Tyto jednotky dosahují až 2,5 kW a jsou vyráběny v různých velikostech, dle typových řad rozváděčů. [14]

Závěrem lze říct, že pokud je důležité zajistit co nejdelší životnost elektrických prvků uvnitř rozváděče, nesmí se jejich chlazení v žádném případě zanedbat. I při větší počáteční investici do chladicího zařízení, je možné touto cestou snížit náklady na provoz a životnost celého zařízení jako celku. Pro zajímavost je dobré uvést, že jedním z odborníků na chladicí systémy je společnost Rittal, od které jsou v této kapitole převzaty téměř všechny důležité informace.

V této části bylo probráno, jakým způsobem je možné chladit rozváděče a jejich komponenty a případně zamezit degradaci přístrojů. Lze se ale dostat do situace, kdy návrh není dobře vyřešený, což v praxi lze zjistit až při provozu zařízení. Jednou z možností, jak zjistit tepelné ztráty, je použití termovizní kamery. Jelikož se praktická část této práce bude zaměřovat na experimentální měření pomocí termokamery, tak následující část bude zaměřena na práci s termokamerou, chyby při měření a základní principy termovize.

9 Práce s termokamerou

Termokamera využívá principu bezdotykového měření teploty, jelikož všechny předměty, jejichž teplota je větší, než absolutní teplota vykazují elektromagnetické záření. Je třeba podotknout, že se jedná o všechny skutečné předměty, se kterými se můžeme setkat. [16]

Toto měřicí zařízení lze použít převážně ve stavebnictví a v elektrotepelné technice, kdy dochází k záznamu intenzity tepelného záření z povrchu měřeného objektu. Toto tvrzení platí při správném nastavení vstupních parametrů. [17] Správné nastavení termokamery bude probráno v pozdější části této práce.

9.1 Základní principy tepelného záření

Teorii popisující tepelné záření lze popsat třemi následujícími vztahy. Stefan-Boltzmannův zákon, který byl již zmíněn v kapitole 7. Dále zde platí Wienův posunovací zákon a Planckův vyzařovací zákon.

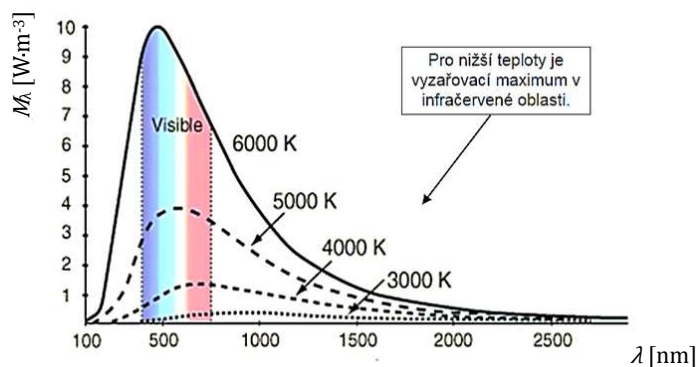
Wienův posunovací zákon

S rostoucí teplotou se maximální intenzita vyzařování posouvá ke kratším vlnovým délkám. Tento jev je popsán následujícím vztahem. [16]

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (9.1)$$

Kde b je Wienova konstanta, která je rovna přibližně 2,898 mm·K [16]

Typickým příkladem je zahřívání ocelové tyče, u které při nižších teplotách žádné záření nevidíme. Tyč sice elektromagnetické záření vyzařuje, ale jen v infračervené oblasti. Toto záření lze zaznamenat termokamerou ale ne lidským okem. Pokud budeme tyč dále zahřívát, tak maximum vyzařování se začne posouvat ke kratším vlnovým délkám, při kterých už pouhým okem jsme schopni zaznamenat viditelné záření. Znázornění posunovacího zákona můžeme vidět na Obr. 9.1. [16]



Obr. 9.1: Wienův posunovací zákon. [18]

Planckův vyzařovací zákon

Planckův zákon v podstatě rozšiřuje tvrzení Stefan-Boltzmannova a Wienova vztahu o tepelném záření těles. Planckův zákon popisuje, kolik energie se vyžáří na jednotlivých vlnových délkách. Dále také, že u černého tělesa (Jedná se o těleso, jehož emisivita je rovna jedné.) závisí spektrální intenzita záření na povrchové teplotě. [16]

Emisivita

Proto, aby bylo možné pracovat s termokamerou, je nutné si rozebrat tento pojem. Emisivitou rozumíme efektivitu vyzařování daného povrchu. Nejvyšší emisivita dosahuje hodnoty 1 a lze se s ní setkat u černého tělesa, které pohlcuje veškeré na něj dopadající záření. V reálných situacích je emisivita vždy nižší než jedna. [16]

Pokud předpokládáme, že emisivita je konstanta, což znamená, že je nezávislá na vlnové délce, tak jsou tato tělesa nazývána šedá. Ve skutečnosti je emisivita vždy závislá na vlnové délce, a proto všechny reálné předměty na nazýváme selektivní zářiče. [16]

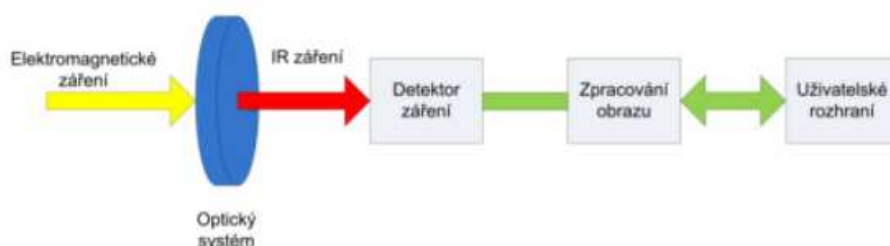
Tento jev výrazně ovlivňuje měření termokamerou, protože při špatném nastavení výchozí emisivity mohou být výsledky měření nepřesné. [16]

9.2 Konstrukce termokamery

Jelikož se jedná o optické zařízení, které je schopné zaznamenávat potřebná data, tak lze tvrdit, že konstrukce termokamery je velmi podobná klasické kameře nebo fotoaparátu. Celé zařízení se skládá z několika důležitých komponentů, které můžeme rozdělit do následujících tří částí. [16]

- Optika
- Detektor
- Elektronika pro zpracování a znázornění obrazu

Všechny tyto části spolu úzce souvisí a jejich spolupráci je možné vidět na jednoduchém blokovém schématu znázorněném na Obr. 9.2. [16]



Obr. 9.2: Blokové schéma principu termokamery. [19]

Z Obr. 9.2. lze vidět, že na objektiv dopadá elektromagnetické záření, který toto záření dále promítá na detektor. Detektor slouží pro změření intenzity záření a tato informace je následně elektronicky zpracována a převedena na konečný obraz, který lze vidět na displeji. Odborně se nazývá termogram a který nese informaci o povrchovém rozložení teploty na měřeném objektu. [16]

Optika

Je vyrobena výhradně z germania bez možnosti optického zoomu. Její povrch je ošetřen antireflexní vrstvou, která má za úkol zabránit odrazu infračerveného záření z povrchu čočky. Zároveň funguje jako filtr, jelikož na povrch čočky dopadá elektromagnetické záření všech vlnových délek, ale optika propouští pouze infračervené záření. [16]

Detektor

Slouží pro převod dopadajícího infračerveného záření na elektrický signál, který je dále zpracován na výsledný snímek. Dle principu můžeme rozdělit detektory na tepelné a fotonové. [16]

Tepelné detektory využívají principu změny elektrických parametrů v závislosti na intenzitě infračerveného záření. Typickým představitelem je mikrobolometr, který mění elektrický odpor v závislosti na intenzitě dopadajícího záření. Jedná se o nejčastější typ detektoru, u kterých je možné setkat se s tzv. mikrobolometrickým polem, což je plocha, na které je umístěno velké množství mikrobolometrů. Hlavní výhodou je, že tyto detektory jsou cenově přijatelnější než termokamery s fotonovým detektorem. [16]

Fotonové detektory jsou využívány převážně pro vědecké účely a jejich hlavní rozdíl oproti tepelným detektorům je vyšší spektrální citlivost. Tyto detektory pracují na principu počítání fotonů, což znamená, že dochází k počtu kvant elektronového záření. Jejich nevýhodou je, že jsou podstatně dražší a také těžší jelikož k fotonovému detektoru je nutné chlazení. Další důležitou vlastností je, že pracují v úzkém rozsahu vlnových délek oproti širokopásmovým tepelným detektorům. [16]

Elektronika pro zpracování a znázornění obrazu

Tyto elektrické obvody zajišťují zpracování elektrického signálu pomocí výkonného mikroprocesoru a řídicího algoritmu, čímž je možné docílit autokalibrace a korekce obrazu, tak aby byl použitelný pro další zpracování. [16]

9.3 Chyby a nejistoty při měření

Stejně jako při každém měření na čemkoliv se lze u měření pomocí termokamery dopustit řady chyb, které mohou vést k chybně naměřeným povrchovým teplotám na objektu. Pokud je s těmito chybami pracováno, je možné dojít ke špatným závěrům. [16]

Pokud mají být výsledky z měření správné, je třeba respektovat vlastní chybu kamery, kterou lze zjistit z technického listu výrobce. Dále je důležité správně určit emisivitu povrchu, odraženou zdánlivou teplotu a vliv atmosféry. Všechny parametry lze nastavit v menu termokamery. Konkrétním nastavením kamery se bude tato práce zabývat až v praktické části. [16]

Vlastní chyba termokamery

Každé měřicí zařízení vykazuje vlastní chybu, která je udávána výrobcem a většina termokamer, které jsou nyní k prodeji, mají následující rozsah chyb. [16]

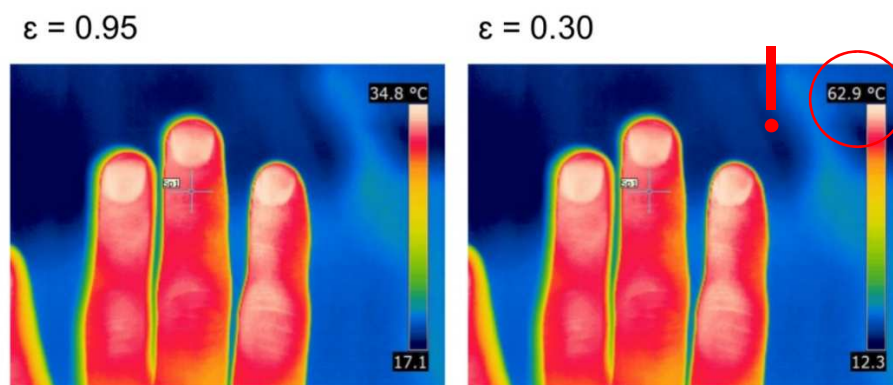
- $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\text{ }\%$ z měřeného údaje
- $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 1\text{ }\%$ z měřeného údaje

Je třeba poznamenat, že kamery, které pracují s chybou $\pm 1^\circ\text{C}$ nebo $\pm 1\%$, jsou v současné době na špičkové úrovni a patří mezi nejdražší měřicí zařízení a cenově se mohou pohybovat okolo půl milionu korun. Standardem dnešních levnějších termokamer je rozsah $\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$. [16] Je tedy zřejmé, že při zpracování výsledků z měření je nutné tuto chybu do výsledné teploty započítat.

Bohužel v praxi je výsledná chyba vždy vyšší než $\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$, jelikož zde se musí počítat i s ostatními chybami, které byly zmíněny výše.

Chyba způsobená špatnou emisivitou

V tomto případě je důležité jednoznačně určit, o jaký materiál jde, protože druh materiálu, jeho drsnost a i barva má vliv na hodnotu emisivity. Pokud nastavená emisivita v kameře bude větší, než je skutečná hodnota, bude termokamera očekávat při dané povrchové teplotě více tepelného záření. Ve skutečnosti naměří méně záření a bude předpokládat, že teplota povrchu je nižší než ve skutečnosti. Stejný princip platí v opačném případě, kdy naměřená teplota může být větší, než je reálná hodnota. Praktický příklad lze vidět na Obr. 9.3. [19]



Obr. 9.3: Chyba způsobená špatným nastavením emisivity. [19]

Chyba způsobená atmosférou

Jedná se o nejméně problematickou část, jelikož vliv atmosféry lze celkem dobře simulovat dobře nastavenými počátečními podmínkami, které lze změřit přímo kamerou a poté zadat do menu specifikací. Ke správnému měření je potřeba znát tyto údaje. [19]

- Atmosférická teplota
- Vzdálenost od měřeného objektu (Tloušťka atmosférického sloupce mezi objektem a termokamerou)
- Atmosférická vlhkost

Tato chyba nemá výrazný vliv na výslednou teplotu a v mnoha případech lze nastavování těchto parametrů zcela zanedbat. [19]

Chyba způsobená odraženou zdánlivou teplotou

Jedná se o okolní tepelné záření, které se odrazí od lesklých ploch měřeného objektu a dopadá na detektor termokamery. V těchto případech zařízení není schopno rozlišit, zda se jedná o vlastní tepelné

záření objektu nebo odražené tepelné záření. Tuto hodnotu je nutné stanovit a zadat do vstupního nastavení termokamery před započítím měření. [19]

Odražená teplota úzce souvisí s emisivitou povrchu, jelikož čím vyšší je emisivita, tím menší je vliv odražené zdánlivé teploty. V praktickém měření lze tuto hodnotu stanovit pouze přibližně. Jedná se v podstatě o odhad na základě zkušeností. Příklad, kde dochází k odrazu tepelného záření, lze vidět na Obr. 9.4, na kterém je znázorněno měření na motoru, který se nachází v blízkosti vodovodního potrubí. [19]



Obr. 9.4: Vliv odraženého tepelného záření. [19]

V zakroužkované části, lze vidět případ, kdy lesklé kovové potrubí odráží tepelné záření z motoru, což může značně ovlivnit výslednou nejvyšší nebo průměrnou teplotu. [19]

Závěrem lze říci, že neexistuje správný obecný postup, jak přesně s termokamerou pracovat, jelikož závisí na mnoha okolnostech v daném místě měření. Z těchto důvodů je vhodné si zjistit co nejvíce informací o objektu a také o jeho okolí. [19]

Pro zajímavost je třeba uvést, že bezkontaktním měřením termokamerou se v České republice zabývá Centrum Termografie a na většinu poznatků o měření byli využity prezentační materiály tohoto centra.

Tato část diplomové práce se zabývala především teoretickými poznatky, které zahrnovaly druhy rozváděčů a zásady dimenzování. Dále pak zde byla rozebrána problematika šíření tepla, oteplení rozváděčových skříní a možnosti snižování ztrát. Poslední část se zabývala principem funkce termokamery a možností jejího využití.

Následující část práce bude už pouze praktická a bude zahrnovat extrémní případ oteplení reálného rozváděče. Také v nadcházející kapitole budou rozebrány výsledky z téměř celoročního měření a následné řešení, jak je možné eliminovat vzniklé tepelné ztráty.

10 Experimentální měření oteplení na rozváděči

Praktická část diplomové práce je zaměřena na experimentální měření na rozváděči, u kterého byla zjištěna vysoká hodnota oteplení, než je dovolená v letním období. Pro tyto účely byl vybrán rozváděč, ze kterého je napájen a řízen vodovodní vrt v obci Drnovice v blízkosti města Vyškov. Tento rozváděč byl navržen a zkonstruován firmou GDF spol. s.r.o. se sídlem v Mostkově v blízkosti města Uničov. Tato společnost se zabývá kompletní dodávkou a projekcí elektrických zařízení pro vodohospodářský průmysl.

Jelikož elektrické zařízení bylo v letních měsících vystaveno téměř celý den přímému slunečnímu záření, tak předmětem měření bylo zjistit, zda dovolená teplota uvnitř rozváděče vyhovuje. Měření zahrnovalo zjišťování oteplení na povrchu a uvnitř rozváděčové skříně v období od léta roku 2017 do zimy 2018. Jednotlivá měření byla rozdělena do čtyř částí a každá z těchto částí zahrnuje zaznamenání teploty pomocí termokamery, kterou pro tyto účely zapůjčila firma Elpremo spol. s.r.o. se sídlem v Olomouci.

Cílem bylo zjistit kritickou teplotu a postupný vliv ročního období na oteplení. Dále zjistit možnou příčinu tepelných ztrát a následně řešení eliminace teplotního extrému a optimalizaci celého systému.

Při pořizování jednotlivých termogramů byly snímány převážně tyto části:

- Rozváděčová skříň
- Výzbroj celého rozváděče
- Místa s kritickou teplotou

Výsledky z měření slouží především k porovnání oteplení v různých měsících a součástí této práce budou i následující části:

- Prostředí, ve kterém měření probíhalo, což bude zahrnovat charakterizování hlavních vnějších vlivů v daném okolí.
- Parametry rozváděče, které budou zahrnovat materiály skříně a výbavu rozváděče. Tato část bude doplněna o obvodové schéma, které je zahrnuto v příloze F.
- Parametry hlavních zdrojů tepelných ztrát, které lze vidět v Tab. 10.1.
- Následky vlivem vysokých oteplení.
- Srovnání oteplení v různých ročních obdobích.
- Možnost snížení tepelných ztrát.
- Uživatelské menu termokamery a možnosti nastavení, kterých bylo využito při experimentu.
- Vyhodnocení výsledků z měření a následné zpracování závěru.

10.1 Charakterizace místa měření

Jedná se o odlehlejší místo, nacházející se v blízkosti obce Drnovice. Prostor je v blízkosti menšího lesa avšak s volným prostranstvím, které je během léta vystaveno přímému slunečnímu záření. Místo se nachází v nadmořské výšce zhruba 250 metrů nad mořem a průměrná vlhkost v letních měsících je zhruba 30 %. V podzimním a zimním období je průměrná vlhkost přibližně v rozmezí 50 % až 90%.

Vodovodní vrt spravuje akciová společnost Vodovody a kanalizace Vyškov. Místo kde je rozváděč přibližně umístěn lze vidět na Obr. 10.1.



Obr. 10.1: Náhled na rozváděč a jeho okolí.

10.2 Parametry a popis rozváděče

Jedná se o skříňový rozváděč vyrobený z polyesteru, který je zesílen sklenými vlákny. Vzhledem k okolním podmínkám je tento materiál odolný proti ÚV záření a dále disponuje samozhášivými vlastnostmi, vhodnými i do agresivnějšího prostředí.

Výška samostatného rozváděče je 1 metr a šířka také 1 metr. Celková výška s plastovým podstavcem je 1,9 metrů s hloubkou 0,42 metrů. Celkový náčrt rozváděčového celku lze vidět v příloze F. Tento náčrt je součástí obvodového schématu. Veškeré technické informace ohledně rozváděčové konstrukce lze najít v online katalogu výrobce. [33]

Je nutné podotknout, že levá část rozváděče je vybavena vnitřními dveřmi, na kterých je namontovaný ovládací dotykový panel pro snadnější obsluhu, a to z důvodu zajištění jednoho ze základních požadavků na rozvodná zařízení. Tyto požadavky byly zmíněny ve třetí kapitole. Vnitřní dveře zajišťují určitý stupeň estetičnosti, dále ochranu před dotykem neživých částí a v neposlední řadě je splněn sociální požadavek, kterým zajišťuje dobrou a přehlednou obsluhu zařízení.

Za vnitřními dveřmi se nachází hlavní jistič celého rozváděče a dále přístrojová výzbroj pro stavební elektroinstalaci, která zahrnuje jeden světelný okruh pro osvětlení šachty. Dále je zde možné najít servisní svítidlo a zásuvku na 230 V. Tento prostor je také vybaven slaboproudými obvody pro napájení jednotlivých čidel a řídicí jednotky PLC, díky které je zajištěné plynulé řízení celého vrtu. Aby byla zaručena komunikace a možnost dálkového provozu celého systému s centrálním dispečinkem Vyškov, tak tento prostor je také doplněn o průmyslový LTE router, který je umístěn na boční straně skříně.

Pravou stranu rozváděčové skříně zabírá frekvenční měnič, pomocí kterého je řízeno ponorné čerpadlo o výkonu 30 kW. Tento prostor je vyhrazen pouze pro frekvenční měnič a kabelový přívod. Tento prostor je oddělen pomocí hliníkového plechového profilu, který by měl částečně zabránit úniku tepelných ztrát do levé části, která je náchylnější na prudké změny teploty.

Pro lepší přístup k obsluze je tento rozváděč vybaven dvoukřídlými dveřmi, díky kterým je pro obsluhu zajištěn přístup pouze k frekvenčnímu měniči nebo ke vnitřním dveřím s ovládacím panelem. Pro servisní účely je také možné otevření vnitřních dveří.

Dále je nutné zmínit že, rozváděč je vybaven nucenou ventilací skládající se ze sacího a vyfukovacího otvoru. Toto chlazení je realizováno pomocí ventilátoru, umístěného na boční straně.

Celkové znázornění rozvaděčové skříně a její výzbroje lze vidět na Obr. 10. 2; Obr 10.3; Obr 10.4.



Obr. 10.3: Náhled na zavřený rozváděč.



Obr. 10.2: Náhled na vnitřní dveře.



Obr. 10.4: Náhled na otevřený rozvaděčový prostor

10.3 Hlavní zdroje tepelných ztrát a jejich následky

Rozváděč, který napájí technologii vrtu, byl vyroben během léta roku 2017 a montážními technikami naistalován zhruba v červenci roku 2017. Během několika týdnů provozu bylo zjištěno, že celoplastová skříň se přehřívá. Tento problém byl zjištěn pouhým dotykem dlaně na dveře rozváděče.

Z těchto důvodů bylo nutné zjistit, jaké jsou přesné příčiny přehřívání celého zařízení. K tomuto účelu byla použita termokamera od společnosti FLIR modelové řady E40. Přesný popis funkcí a postupu měření je zahrnuto v poslední podkapitole. Odkaz na datový list od výrobce lze najít v použité literatuře. [39]

Jelikož první měření v létě 2017 bylo klíčové, byl pro tyto účely použit i přístroj ClimaSys DT od společnosti Schneider Electric, který je schopen zaznamenávat teplotní data. Dále podle něho lze měřit relativní vlhkost a rosný bod. Zařízení měří v určitých intervalech, které lze nastavit pomocí programu EffiClima, který je součástí měřicího přístroje. Zaznamenaná data se ukládají do vnitřní paměti a pomocí softwaru lze z těchto údajů vygenerovat průběhy oteplení v daném měřicím období. Toto zařízení bylo použito z důvodu zjištění průměrné teploty uvnitř rozváděče v delším časovém úseku. Přesnou specifikaci celého zařízení lze vidět v katalogu výrobce. [38] Případem tohoto měření je zaznamenávání teploty v průběhu 22 hodin s časovým krokem jedné hodiny. Výsledné charakteristiky lze vidět na Obr. 10.10.

Jak bylo již zmíněno v kapitole 8, tak většina výrobců elektrických přístrojů a jejich příslušenství udává přibližné tepelné ztráty v technické listu, kde lze najít všechny důležité parametry daného zařízení. Seznam elektrických přístrojů, které jsou zdroji hlavních ztrát lze vidět v následující tabulce.

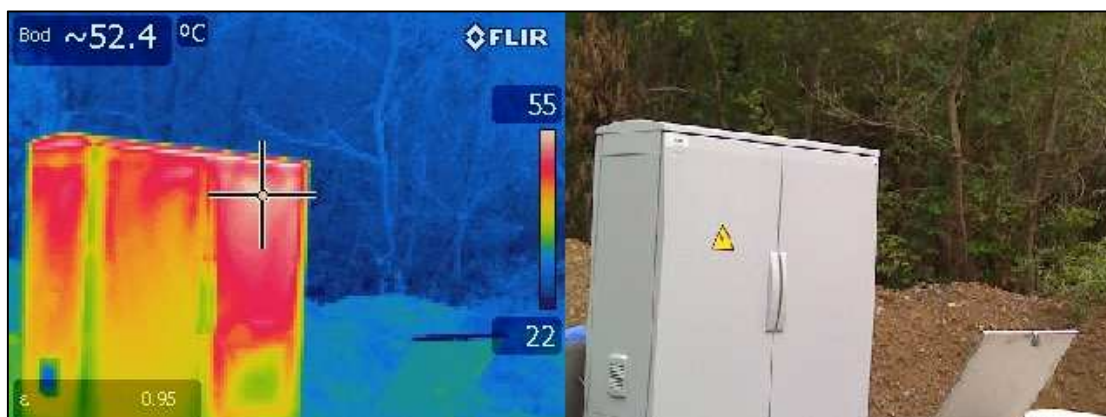
Tab. 10.1: Seznam hlavních zdrojů tepelných ztrát.

Druh přístroje	Výkonová ztráta (W)	Jmenovitý proud (A)	Pracovní teplota (°C)
Jistič MCB 3p	9,6	80	-25 - 70
Jistič MCB 1p	2,4	4	-35 - 70
Jistič MCB 1p	2,4	4	-35 - 70
Proudový chránič 2p	0,4	10	-25 - 60
Jistič MCCB 3p	15,6	100	-35 - 70
Frekvenční měnič	796	66,2	-15 - 50
Jistič MCB 1p	2,7	6	-35 - 70
Zdroj 24 V	9,5	3	-25 - 70
Jistič MCB 1p	1,8	10	-35 - 70
Oddělovací tlumivka	1,3	16	-40 - 80
Záložní zdroj	3,6	1,6	0 - 45

Údaje v Tab. 10.1 jsou převzaty z katalogových listů výrobců těchto komponentů. Jak lze vidět, největším zdrojem tepelných ztrát je frekvenční měnič, který při nucené konvekci odvádí až 796 W v podobě tepla do okolí.

V tabulce je také možné najít malý ventilátor, který disponuje průtočným výkonem 38 m³/h. Bohužel toto řešení nuceného chlazení je nedostatečné, protože v létě byl rozváděč vystaven slunečnímu záření s průměrnou teplotou okolí v rozsahu 33-34 °C. [20] Dále je nutné si uvědomit, že při této teplotě okolí dojde k současnému souběhu čerpadla s frekvenčním měničem, což je pro celé elektrické zařízení nežádoucí, protože teplo, které vzniká uvnitř rozváděče nelze dostatečně odvést plochou skříň ani

nucenou ventilací, který byla v zařízení naistalována. Obr. 10.5 zobrazuje povrchovou teplotu rozvaděčové skříně.



Obr. 10.5: Povrchová teplota přední strany rozváděče.

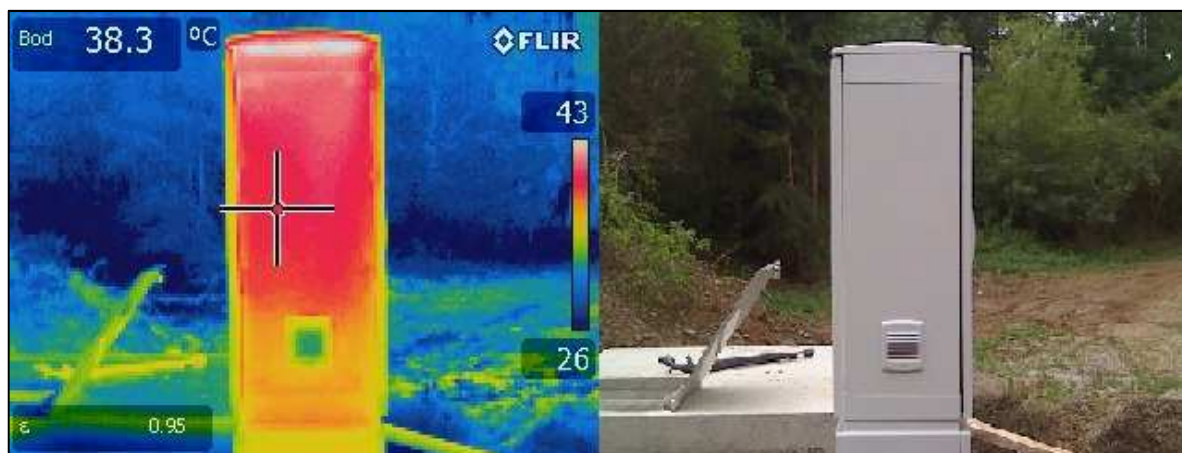
Na levé straně lze vidět termogram, který zobrazuje měření v bodě, ve kterém povrchová teplota dosahuje 52,4 °C a nejvyšší teplota dosahuje až 55 °C. V místě kde je teplota nejvyšší, je umístěn frekvenční měnič, který vzniklé tepelné ztráty vyfukuje vlastním ventilátorem směrem k vrchní části rozvaděčové skříně. Tento frekvenční měnič je vybavený vlastní ventilací, která nasává vzduch spodní částí a vrchním otvorem vyfukuje do prostoru. Vniklé teplo by mělo odcházet mřížkou ventilátoru, která je umístěna na pravé straně skříně. Ale vzhledem k malému výkonu, přídatného ventilátoru, se teplo akumuluje v jednom místě. Umístění vyfukovací mřížky lze vidět na Obr. 10.6 v zakroužkované červené části.



Obr. 10.6: Umístění vyfukovací mřížky.

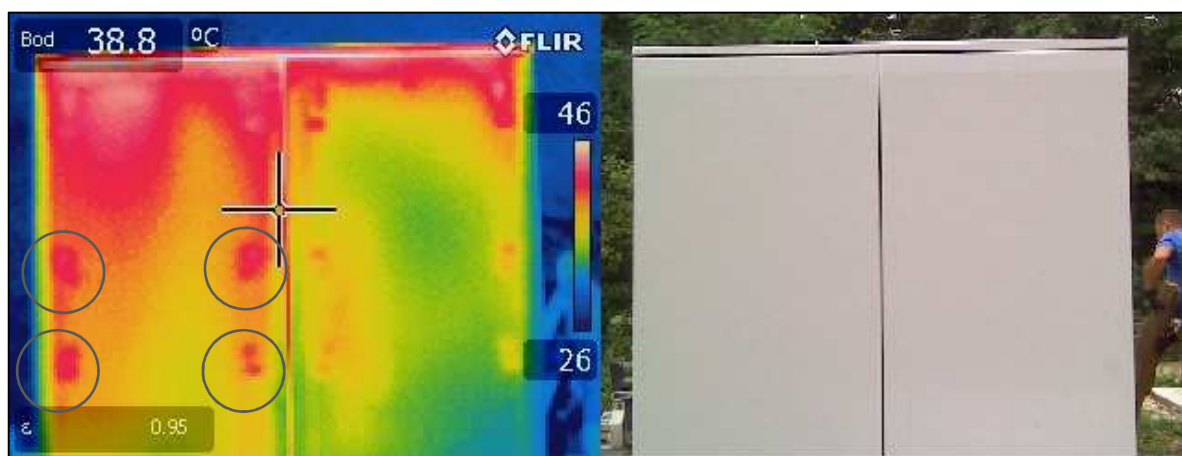
Sací ventilátor je umístěn v levé dolní části skříně, což je prostor řídicí a jistící. Z Obr. 10.7 lze vyčíst, že ventilátor nasává teplý vzduch, který dle termogramu dosahuje přibližně 28 °C, což je teplota, která je změřena na plastových žebrech sací ventilace. Je důležité upozornit, že tento údaj je pouze odhadnutý z barevné teplotní stupnice, která je součástí každé fotky z termokamery. Ze stupnice je také možné zjistit, že rozdíl nejvyšší teploty ve vrchní části rozvaděčové skříně a nejchladnějšího místa okolního prostředí je 17 °C. Na Obr. 10.7 lze vidět, že nejchladnější místo má teplotu přibližně 26 °C, což je prostor ve stínu. V tomto případě je nutné brát tuto teplotu pouze jako orientační, jelikož prostor

ve stínu, který je snímán kamerou, je vzdálený přibližně 10 metrů od místa měření, ale měřený objekt byl rozváděč, vzdálený přibližně 3 metry. Z těchto důvodů byla v kameře nastavená vzdálenost od měřeného objektu na 3 metry a je zřejmé, že prostor ve stínu je snímán s určitou chybou.



Obr. 10.7: Pohled na sací otvor na boku rozváděče.

Dále je nutné zdůraznit, že vzniklé teplo, které se akumuluje ve vrchní části systému, předává svoji energii také do montážního rámu, na kterém je upevněný frekvenční měnič a veškerá výzbroj jistící a řídicí části, včetně kabelových tras a připojovacích svorek. Příklad ohřevu montážního plechu lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 10.8: Zadní strana rozváděče.

Z Obr. 10.8 je patrné, že tepelná energie se neudrží pouze na straně frekvenčního měniče a prochází i do vrchní části řídicího a jistícího prostoru. Tento jev je zapříčiněn oddělovacím hliníkovým profilem, který částečně zabraňuje průchodu teplého vzduchu z vyfukovacího otvorů frekvenčního měniče přímo do druhé části rozváděče. Hliníkový profil má také za úkol částečně zabránit rušení, které by mohlo ovlivnit výslednou komunikaci objektu s dispečinkem.

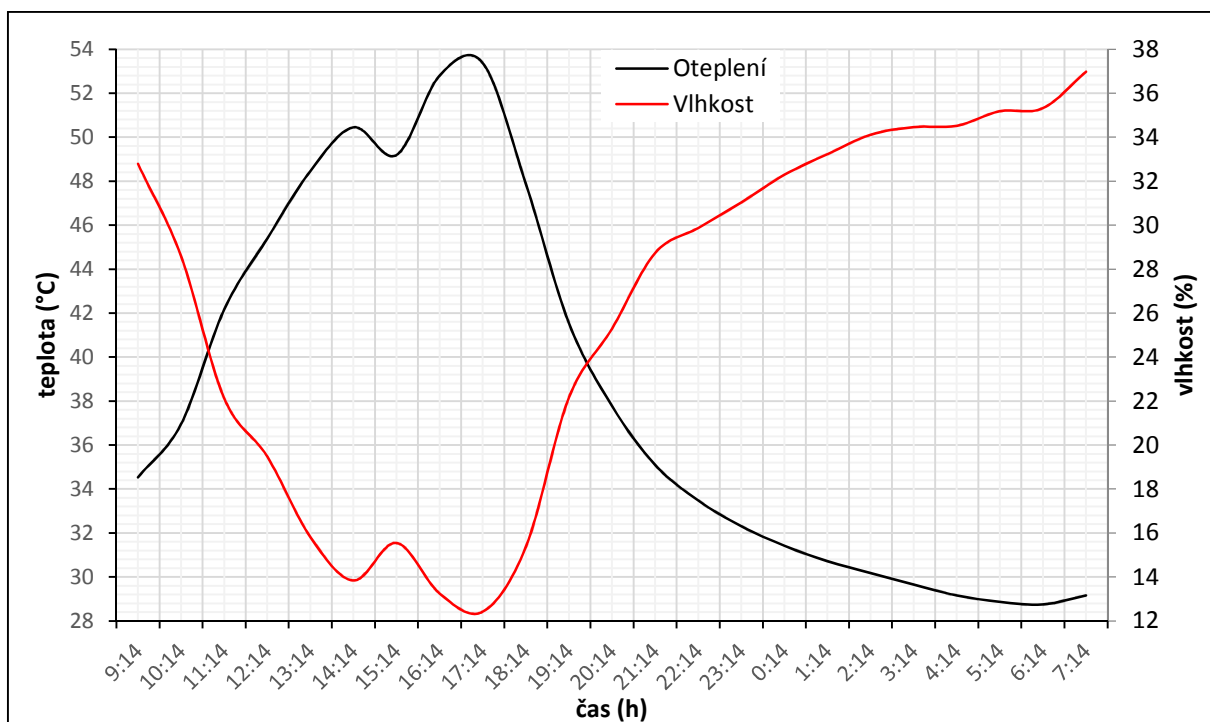
Také je nutné zmínit, že na výslednou teplotu střešní části rozváděčového systému má i sluneční záření. Náhled na oddělovací profil frekvenčního měniče lze vidět na Obr. 10.9.

Dále si lze všimnout červených skvrn v zakroužkované části. Tyto tepelné body vykazují vyšší teplotu než okolní část. V těchto bodech se nacházejí upevňovací kovové šrouby, pomocí kterých je montážní rám připevněn k plastové skříni. V těchto místech dochází k ohřevu jednotlivých šroubů, ve kterých se akumuluje energie s teplotou přibližně 40 °C, která je následně předávána do plastové konstrukce.



Obr. 10.9: Náhled na oddělení frekvenčního měniče od řídicího a jistícího prostoru.

Jak bylo již řečeno v kapitole 8, ideální teplota pro správnou funkčnost a životnost zařízení by se měla v rozvaděčové skříni pohybovat v rozsahu 10 až 40 °C. Vlhkostní rozmezí se pohybuje v celkem širokém rozsahu 30 až 90 %. Průběh oteplení a vlhkosti lze vidět na Obr. 10.10.



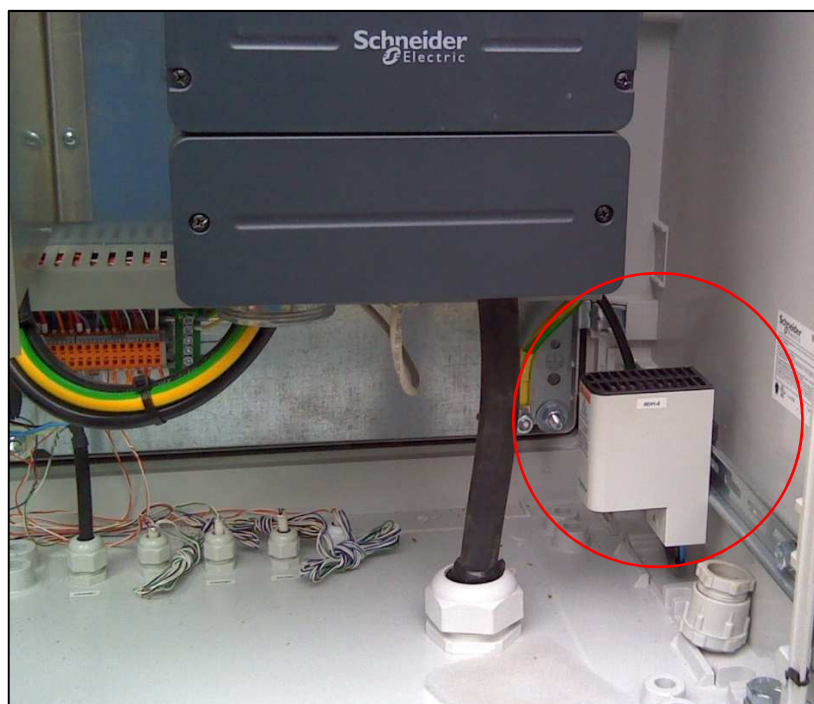
Obr. 10.10: Průběh oteplení a vlhkosti uvnitř rozváděče.

Měřicí zařízení cyklicky měřilo v intervalu po 10 sekundách, ale pro účely tohoto experimentu bude stačit, když časová osa bude rozdělena na hodinové intervaly. Cílem bylo zjistit vnitřní oteplení a vlhkost během jednoho dne provozu. Z Obr. 10.10 lze vidět, že maximální teplota dosahuje 53,64 °C a nejnižší je 28,63°C. Tyto přesné hodnoty byly vyčteny z vygenerované excelovské tabulky pomocí softwaru EffiClima. Z důvodu její velké obsáhlosti nebude součástí obsahu ani přílohy této práce.

Měření začínalo přibližně v 9 hodin ráno a končilo po 7. hodině ranní následujícího dne. Lze si povšimnout exponenciálního nárůstu teploty, který probíhá od 9 do 17 hodin, kdy teplota dosahuje nejvyšší hodnoty. Tento efekt je způsobený tím, že čelní strana rozváděče je orientována na severo-západní stranu, což má za efekt nárůst oteplení převážně v odpoledních hodinách. Tuto situaci lze pozorovat v druhé části grafu, kdy teplota postupně klesá po exponenciále a je zřejmé, že kolem 6. hodiny ranní je reálná teplota uvnitř rozváděče přibližně 28 °C. V poslední části grafu lze pozorovat, že křivka začíná dále narůstat, což je moment kdy se rozbíhá čerpadlo s frekvenčním měničem. Teplotní vzrůst je v tomto případě zhruba 1 °C. Na mírné zvýšení teploty může mít vliv i záření vycházejícího slunce, bohužel toto tvrzení nelze ničím podložit a z tohoto důvodu bude brán ohled pouze na ranní chod čerpadla.

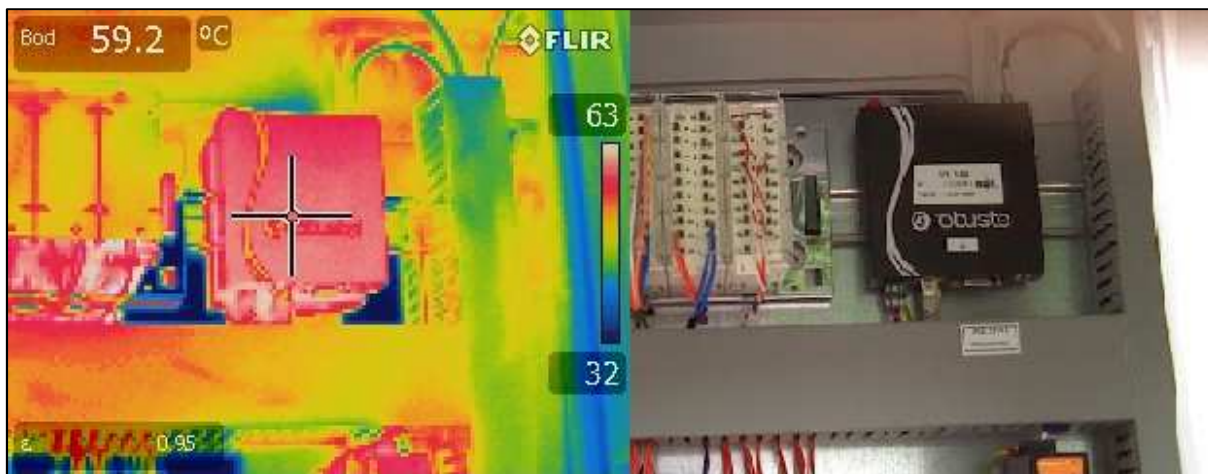
Červená křivka vyobrazuje průběh vlhkosti uvnitř skříně, která dosahuje nejnižší hodnoty 10,47 % a největší hodnota je zaznamenána 44,48 %. Měřicí zařízení zaznamenávalo průběh vlhkosti společně s teplotou. Lze si všimnout, že čím jsou hodnoty oteplení uvnitř skříně větší, tím je vlhkost nižší. Průběh vlhkostních poměrů má podobný průběh jako teplota ale je pouze zrcadlově otočen. Je logické, že vlhkost dosahuje při teplotě 53 °C okolo 10 %, jelikož v rozváděči dochází k průtoku suchého teplého vzduchu, který zabráňuje zvýšení vlhkosti. Nízká vlhkost zde nemá žádný negativní vliv na elektrické přístroje. Horší situace nastává, pokud by vlhkost přesáhla takovou hodnotu, kdy by docházelo ke kondenzaci vodních par, což by mohlo způsobit vytváření kapek vody, které by se mohli dostat do některého z elektrických zařízení a nenávratně ho poškodit. Tento negativní účinek se může projevit u přístrojů, které nejsou vybaveny patřičným krytím. V tomto případě tato situace nehrozí, jelikož o vysoušení vzduchu se postará vyfukování teplého vzduchu z frekvenčního měniče, což sice není jeho účelem, ale může i přívětivě ovlivnit tento problém. Zařízení, které je pro tyto cíle v rozváděči umístěno, je přídatný topný odpor, který se spíná pomocí termostatu, na kterém je nastavena mezní teplota. Pokud vnitřní teplota klesne pod nastavenou mez, tak topné zařízení začne vytápět rozváděčovou skříň a eliminuje vznik vodních kapek. V případě tohoto rozváděče je uvnitř umístěn topný odpor o výkonu 20 W, který se zapíná při poklesu teploty pod 20 °C. Zařízení je umístěno v dolní oblasti frekvenčního měniče a jeho náhled je vidět na Obr. 10.11.

Měření pomocí tohoto zařízení bylo provedeno pouze jednou a to v létě roku 2017, cílem bylo zkontrolovat teplotu uvnitř rozváděče, popřípadě zjistit, ve kterém čase teplotní maximum nastává. Dále také sloužilo pro přibližnou kontrolu s měřenými teplotami pomocí termokamery, jelikož datalogger měří s přesností $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ dle technické specifikace výrobce. V dalších měření během podzimu a zimy bylo využito pouze termokamery a pomocí dataloggeru již měřeno nebylo z důvodu časové i organizační náročnosti.



Obr. 10.11: Topný odpor.

Vlivem uvolněných tepelných ztrát nedocházelo pouze k ohřevu celého rozvaděčového celku, ale také vysokému nárůstu teploty na povrchu průmyslového LTE routeru, což mělo za následek občasné přerušení komunikace objektu s centrálním dispečinkem Vyškov. Toto zařízení bylo umístěné ve vrchní části rozvaděče v prostoru řídicím a jistícím vedle řídicí jednotky. Vlivem akumulace tepla ve vrchní části skříňe se povrchová teplota vyšplhala téměř na 60 °C, bližší náhled na situaci lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 10.12: Náhled na povrchovou teplotu průmyslového routeru.

Výrobce tohoto zařízení udává, že pracovní teplota zařízení se pohybuje v rozmezí -40 až 85 °C. [24] Bohužel již při povrchové teplotě 59,2 °C docházelo k častým výpadkům. Rušení vlivem frekvenčního měniče bylo vyloučeno z praktických zkušeností ověřených firmou GDF, která se tímto oborem již mnoho let zabývá. Je nutné zmínit, že tento typ frekvenčního měniče má vstupní tlumivku instalovanou v sobě, která zabraňuje šíření vyšších harmonických do sítě a také snižuje rušení ze sítě.

Dále je zde také vyloučena chybná instalace frekvenčního měniče, protože na připojení motoru byl využitý stíněný kabel. Dále je nutné zmínit, že u oceloplechových rozvaděčů může docházet k vzájemnému rušení přístrojů, které jsou instalovány v blízkosti frekvenčního měniče. Toto však platí při nekvalitním uzemnění, což není předmětem tohoto případu, jelikož zde byla využita plastová skříň a uzemnění je zde provedeno pouze na plechovém montážním rámu. Téma o rušivých vlivech a vyšších harmonických je velmi rozsáhlé a komplikované a není hlavním tématem této práce. Z těchto důvodů zde nebude dále podrobněji probíráno.

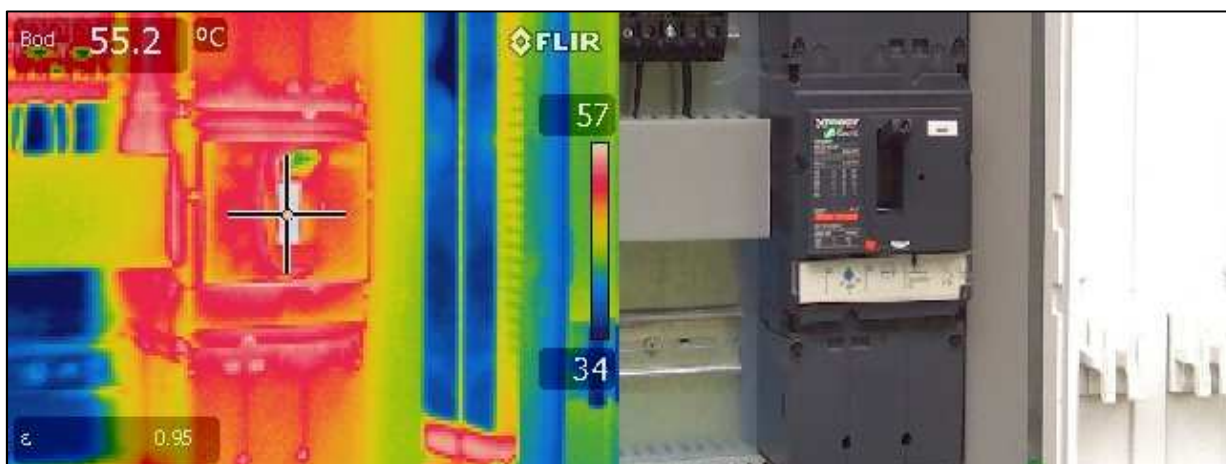
Tento problém byl vyřešen umístěním routeru na levý vnitřní bok rozvaděče, což eliminovalo problémy s výpadky komunikace. Toto řešení je velmi jednoduché, jelikož nyní už router není součástí plechového rámu, ve kterém se akumulovalo teplo a tím pádem nedochází k přestupu tepla do routeru. Nové umístění komunikačního zařízení lze vidět na Obr. 10.13. Tato fotka byla pořízena až při podzimním měření tudíž zde nelze srovnat povrchové teploty před a po přemístění. Je nutné podkrot že od doby, kdy zařízení bylo přemístěno, již k výpadku vlivem vysokého oteplení nedošlo.



Obr. 10.13: Nové umístění průmyslového routeru.

Mezi další zdroje tepelných ztrát lze zařadit i kompaktní jistič, který slouží pro odjištění napájecího obvodu frekvenčního měniče. Dle technických specifikací výrobce udává, že na jeden pól připadá ztrátový výkon 5,2 W. Tento jistič je trojpólový, takže celkový ztrátový výkon je přibližně 15,6 W. Oproti ztrátám z frekvenčního měniče je tato hodnota téměř zanedbatelná, ale je nutné s ní počítat do celkového ztrátového výkonu. Výkonová ztráta je udávána při průchodu jmenovitého proudu, což může mít značný vliv na tepelnou spoušť, na které vzniká úbytek napětí. Vliv průchodu proudu tepelnou spouští a celkové vysoké oteplení v rozvaděči může zapříčinit zvýšení teploty ovládací části jisticího zařízení. Pro názornou ukázkou lze nahlédnout na Obr. 10.14, na kterém lze vidět oteplení ovládací páčky, která dosahuje teploty přibližně 55 °C. Je důležité upozornit, že tento jistič je konstruovaný na jmenovitý proud 100 A s nastavitelnou spouští, která je reálně nastavena na jmenovitý proud 75 A. Výkon čerpadla je nastavený na 91,5 % při frekvenci 42,3 Hz. Tuto hodnotu lze i vidět na ovládacím panelu frekvenčního měniče na Obr. 10.6 nebo Obr. 10.9. Jmenovitý proud ponorného čerpadla je 61,5 A, takže je vyloučené,

že by jistič byl přetížen velkým proudem. Více informací o použitém čerpadle lze najít v technickém listu výrobce. Odkaz na technický list je možné najít v použité literatuře. [40]



Obr. 10.14: Hlavní jistič frekvenčního měniče.

Dle tabulky 10.1 se v rozváděčové skříni nachází mnoho zdrojů ztrátového výkonu. Pokud se sečtou všechny příspěvky jednotlivých zdrojů, tak celkový ztrátový výkon dosahuje hodnoty téměř 850 W. Tato hodnota je celkem vysoká, pokud bereme v úvahu, že na celkové oteplení mají vliv i vnější vlivy. Z těchto důvodů je nutné měření provádět i za jiných podmínek než pouze v letních měsících.

Následující část práce se bude věnovat oteplení v různých ročních obdobích. Hodnoty z těchto měření budou srovnány s vysokými, kritickými teplotami, které byly zaznamenány v létě roku 2017. Vzhledem k vysoké obsáhlosti budou změřené údaje pouze uvedeny do tabulky a fotky z měření budou součástí příloh A, B, C, D, E.

Veškeré hodnoty ztrátových výkonů jsou odečítány z katalogových listů jednotlivých výrobců. Odkazy na všechny katalogy jsou zařazeny v seznamu použité literatury. [23]; [24]; [30-40]

10.4 Srovnání oteplení v různých ročních obdobích

Jak bylo již řečeno v předchozí podkapitole 10.3, tak první měření probíhalo v létě roku 2017. Přesněji byl tento experiment proveden 10. srpna, kdy se teploty okolí pohybovaly v rozmezí 19,3–33,5 °C.

Další měření probíhalo 20. října, při kterém se teploty vzduchu pohybovaly v intervalu od 8,1 do 13,1 °C. V tomto případě je nutné upozornit, že v rozváděčové skříni byl stále umístěn malý ventilátor.

Předposlední měření probíhalo ve dvou fázích. V první fázi byly naměřené hodnoty povrchového oteplení ve stejných místech jako v srpnovém a říjnovém měsíci. Toto měření probíhalo 24. listopadu, kdy se venkovní teplota pohybovala v rozmezí od 4,2 do 6 °C a rozváděč byl taktéž vybaven malým ventilátorem. Druhá fáze zahrnovala výměnu malého ventilátoru za velký.

Poslední úkol zahrnoval změřit teploty v mrazivém období. Teplota okolí se pohybovala v intervalu od -12,7 °C až do -5,8 °C. Experiment byl proveden 28. února roku 2018. Při tomto měření byl v rozváděčové skříni umístěn již velký ventilátor.

Údaje o přesných teplotách byly převzaty z meteorologické stanice Brno – Židenice, která eviduje veškeré záznamy o venkovních teplotách za posledních 12 let. Tyto teploty se pohybují v rozmezí vždy nejnižší a nejvyšší hodnoty, které byly v daný den naměřeny. [20]

V Tab. 10.2 lze vidět různé teploty, které byli naměřeny v různých klimatických podmínkách vždy na stejném místě. Je nutné upozornit, že některé hodnoty jsou odečteny z barevné stupnice a ne pomocí bodového měření. Důvodem je špatná kvalita některých snímků, tím pádem můžou být některé hodnoty naměřeny s určitou chybou.

Tab. 10.2: Naměřené hodnoty oteplení v různých částech rozváděče.

Období měření	Léto 10. srpna 2017	Podzim 20. října 2017	Podzim 24. listopadu 2017	Zima 28. února 2018
Typ ventilátoru	Malý	Malý	Malý	Velký
Teplota okolí	19,3 – 33,5 °C	8,1 – 13,1 °C	4,2 – 6 °C	-12,7 – -5,8 °C
Měřená oblast rozváděče	Naměřená teplota (°C)			
Přední strana	52,4	30	19	16,1
Zadní strana	42	29	18	13
Strana se sáním ventilátoru	38,3	20,8	13,7	10,8
Strana s vyfukováním ventilátoru	42,5	22,2	19	17,4
Oblast frekvenčního měniče (pravá)	47,5	38	21	10,9
Řídící a jisticí oblast (levá)	43,7	34	20,7	12,4
Frekvenční měnič	58,7	32	27,5	15,2
Jistič frekvenčního měniče	55,2	26,5	18,9	13,2
Motorový přívod	57,2	35	24	13,7
Komunikační zařízení - LTE router	59,2	32,4	25,2	19,2
Řídící jednotka	59,5	30,5	27,9	20

Přední stranou rozváděče se rozumí povrch levých plastových dveří. Přesné změření teploty v letním období lze vidět na Obr. 10.5.

Zadní strana je měřena v levé části, kdy v Tab. 10.2 je zaznamenána vždy nejvyšší teplota v oblasti měření. Na Obr. 10.8 lze vidět termogram z letního měření, který zaznamenává teplotu pomocí měřeného bodu v místě přechodu z oblasti frekvenčního měniče do řídicí a jisticí oblasti. V tomto místě je teplota 38 °C.

Na levé boční části se nachází sací otvor ventilátoru a teploty zaznamenané v tabulce jsou měřené na povrchu žeber sacího otvoru. Tento způsob měření je využitý i v pravé boční části skříně, kde se nachází vyfukovací otvor.

Teplota v oblasti frekvenčního měniče je průměrná teplota, která je dána součtem nejteplejšího místa ve vrchní části rozváděče a v nejchladnějším místě ve spodní části u přívodu k čerpadlu. Podobným postupem se došlo i k hodnotám naměřeným v řídicí a jisticí oblasti. Teplota na frekvenčním měniči byla zaznamenána vždy na nejteplejším místě a to ve vrchní části ovládacího panelu, což platí i pro jistič frekvenčního měniče. Nejteplejší místo jisticího zařízení bylo detekováno na ovládací páčce.

Dalším měřeným místem byl motorový přívod, který lze blíže vidět na Obr. 10. 11. Jedná se o pryžový kabel určený pro použití do pitné vody, který má dle ČSN EN 50525-2-21 rozsah teplot od -40

do 90 °C. [21] Nejvyšší teplota je naměřena 57,2 °C. Silový kabel je zatěžován jmenovitým proudem přibližně 61,5 A, což je proud, který otepluje proudovodnou část, která ohřívá i pryžovou izolaci. V tomto případě je nutné brát v úvahu, že vodič se nachází ve vyhřátém rozváděči a z tohoto důvodu je jeho teplota tak vysoká. Pokud by bylo možné změřit povrchovou teplotu uvnitř vrtu, tak hodnota oteplení bude mnohem nižší z důvodu vodního chlazení, které obklopuje izolovaný vodič.

Dalším kritickým místem je LTE router, který se v případě letního měření nacházel přímo ve vrchní části rozváděče na straně blíže k frekvenčnímu měniči. Vlivem přemístění tohoto zařízení došlo ke snížení povrchové teploty a obnovy komunikace vrtu s centrálním dispečinkem. Povrchová teplota byla naměřena zhruba uprostřed zařízení, jak je naznačeno na Obr. 10.12.

Posledním místem, které bylo důležité zkontrolovat hlediska tepelných poměrů je PLC, které je složeno z procesorové jednotky a přídatných karet vstupů, výstupů a komunikačních modulů. Nejvyšší povrchová teplota je přibližně 59,5 °C, což je hodnota naměřená na procesorové jednotce. Dle technických parametrů výrobce je toto zařízení schopné pracovat v tepelném rozsahu od 0 do 60 °C. Lze si všimnout, že nejvyšší dovolená teplota vzduchu v rozváděči se blíží k naměřené povrchové teplotě na zařízení. V tomto případě je nutné si uvědomit, že rozsah od 0-60°C je daný pro trvalý provoz a v případě tohoto měření se jedná o stav, který nastává pouze pár dní v roce a nemá trvalé následky na řídicí zařízení. [32]

Z důvodů velkého množství fotek ze všech měření, nejsou všechny fotky součástí vlastního obsahu práce. Povedené snímky jsou zahrnuty v přílohách, které jsou rozděleny do kategorií podle období, kdy byly pořízeny. Jedná se o přílohy A, B, C, D, E

10.5 Snížení tepelných ztrát

Mezi poslední části této práce patří návrh snížení tepelných ztrát, které vznikají v technologickém rozváděči. Při prvotní výrobě byl použit ventilátor, který je pro odvod tepla nedostatečný. Jedná se o standardní ventilátor určený pro montáž do plastových a oceloplechových rozváděčů, který se skládá z axiálního motoru se vstupní a výstupní mřížkou. Obě mřížky jsou vybaveny filtry třídy G2. Jedná se o nerozšířenější filtr, který je určen pro hrubý prach. Mezi hlavní odloučené látky lze zahrnout listy, písek, hmyz, vodní kapky atd. Nevýhodou těchto filtrů je jejich pravidelné čištění a výměna.

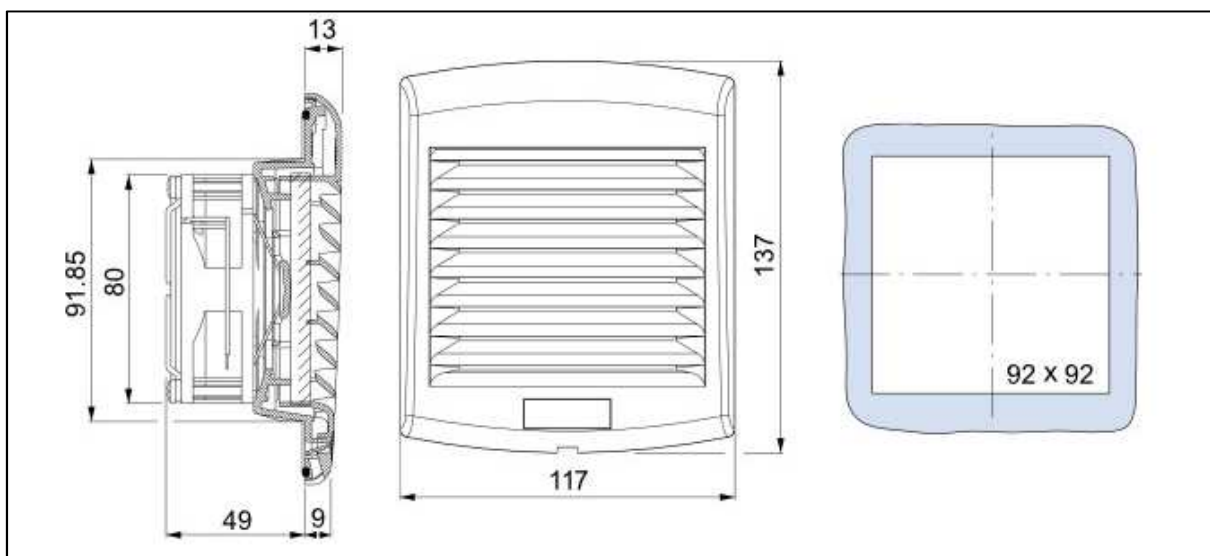
Volný průtok vzduchu je 38 m³/h s maximálním tlakem až 29 Pa. Tyto výkonové parametry jsou nedostatečné, vzhledem k naměřeným vnitřním teplotám, které byly rozebrány v podkapitolách 10.3 a 10.4. Pro názorný příklad si lze uvést, že výkon ventilátoru je přibližně stejný jako ve stolních počítačích, ve kterých tepelné ztráty dosahují menších hodnot, a proud vzduchu probíhá na menší ploše.

Napájení chladicího zařízení je 230 V o elektrickém výkonu 4,5 W při frekvenci 50 Hz. Jeho spínání závisí na termostatu, který je nastaven na hraniční teplotu. V případě tohoto zařízení je termostat nastaven na 25 °C a při překročení této hodnoty je ventilátor uveden do chodu. Provozní teplota se pohybuje v rozsahu -10 až 70 °C. Dále je nutné si uvědomit, že pro správnou účinnost je nutné, aby vnější teplota byla minimálně o 5 °C menší než vnitřní teplota. Tato podmínka nucené ventilace byla probrána také v kapitole 8.3.

Vzhledem k možným vysokým teplotám odváděného vzduchu je materiál použitých dílců vstřikovaný termoplast. Z těchto materiálů je i vyrobena nosná část veškerých elektrických přístrojů umístěných na montážním rámu.

Jelikož je rozváděčový systém využíván ve vnějším prostředí, je nutné, aby tento typ ventilátoru měl i dostatečný stupeň krytí, kterým je IP 54.

Nákres malého ventilátoru lze vidět na Obr. 10.15. Celá technická specifikace je součástí katalogu výrobce. [34]



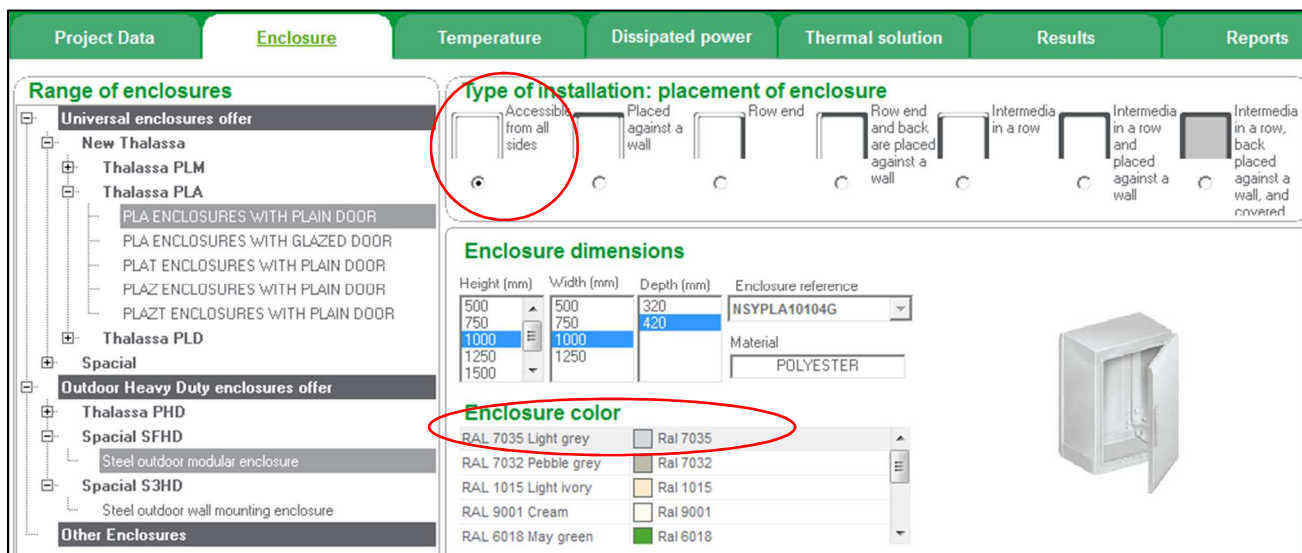
Obr. 10.15: Nákres malého ventilátoru. [26]

Návrh nového chlazení byl limitován rozměry skříně a finančními náklady provozovatele. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto, že jako typ chlazení se znovu využije nucené ventilace. Mezi základní problémy lze zařadit celkové rozměry skříně a její vybavení, jelikož větší účinnější ventilátor má větší rozměry. Dále záleží, jak velký průtok vzduchu je nutný, o čemž rozhoduje nejvyšší teplota vnějšího prostředí a množství tepelných ztrát, které je nutné odvést pryč. Pro tyto účely byl využitý software od společnosti Schneider s názvem ProClima, ve kterém je možné simulovat situaci daného problému s následnou možností praktického řešení. Náhled na vstupní údaje, které je potřeba zadat do programu, lze vidět na následujícím obrázku.

Obr. 10.16: Vstupní obrazovka programu ProClima.

Jako první parametr je důležité jestli se jedná o vnitřní nebo venkovní typ instalace. V tomto případě je zvolená venkovní instalace na soukromém pozemku provozovatele. Ve spodní části Obr. 10.16 lze vidět vstupní informace o projektu, což zahrnuje jeho název a osobou, která na projektu pracuje.

V další záložce programu lze zadat vstupní parametry rozvaděče, který je v elektroinstalaci použitý. Náhled na prostředí volby rozvaděče lze vidět na Obr. 10.17.



Obr. 10.17: Zvolení použitého rozvaděče v programu ProClima.

V levé části je možné vidět typ rozvaděče dle katalogových údajů výrobce. V případě tohoto experimentu se jedná o plastový rozvaděč s uzavřeným dnem a plnými dveřmi o rozměrech 1000x1000x420mm (VxŠxH). Tyto rozměry je nutné znát pro výpočet plochy celého zařízení.

Ve spodní části volíme barvu rozvaděče, která je světle šedá s kódovým označením RAL7035. Tato položka má vliv na výsledný součinitel přestupu tepla a výrazně ovlivňuje emisivitu povrchu.

Poslední položkou, kterou zbývá zvolit je prostor kolem rozvaděče. V horní části lze vidět mnoho variant, které zahrnují různé typy obestavení rozvaděče. Tato část je důležitá z hlediska výpočtu účinné, chladičové plochy rozvaděče, o které bylo zmíněno již v kapitole 8.2. V případě zkoumaného rozvaděče je zvolený volný prostor ze všech stran. Vliv uzavřeného dna se zanedbává ve všech případech.

Další záložka zahrnuje zadání vnějších vlivů, které obsahují maximální nebo minimální vnější teplotu, vlhkost vzduchu, nadmořskou výšku. Dále je nutné vyplnit požadavek na maximální a minimální přípustnou teplotu uvnitř rozvaděče. Náhled programu a vyplněné teplotní poměry lze vidět na Obr. 10.18.

Nejvyšší teplota okolí je volená přibližně 33 °C. Tato hodnota byla zvolena na základě teplotních statistik z meteorologické stanice v Brně. Během roku 2017 bylo celkem 39 tropických dnů, ve kterých teploty převýšily hodnotu 30 °C. Z jednotlivých hodnot byla vypočtena průměrná tropická teplota, která dosahuje 32,7 °C. Vzhledem k nemožnosti vyplnění teploty s desetinným místem v programu ProClima byla tato hodnota zaokrouhlena na 33 °C. Celkový seznam tropických dnů a maximálních naměřených teplot je zahrnutý v Tab. 10.3.

Nejnižší teplota je zvolená také dle statistik meteorologické stanice, kdy teplota poklesla pod bod mrazu s hodnotou -13 °C, která byla změřena 1. března roku 2018.

Tab. 10.3: Tropické dny a jejich teploty. [20]

Project Data **Enclosure** **Temperature** **Dissipation**

Select the temperature range

☒ ° Centigrade ☐ ° Fahrenheit

Choose one of the three possible methods to specify the thermal data.

Outside the enclosure

Highest temperature expected outside the enclosure: 33

Lowest temperature expected outside the enclosure: -13

Relative humidity outside of the enclosure (Hr %): 90

Height above sea level (m): 256

Solar radiation (W/m2 Max): 996

Inside the enclosure

Highest temperature expected inside the enclosure: 45

Lowest temperature expected inside the enclosure: 20

Obr. 10.18: Vstupní parametry teplot v programu ProClima.

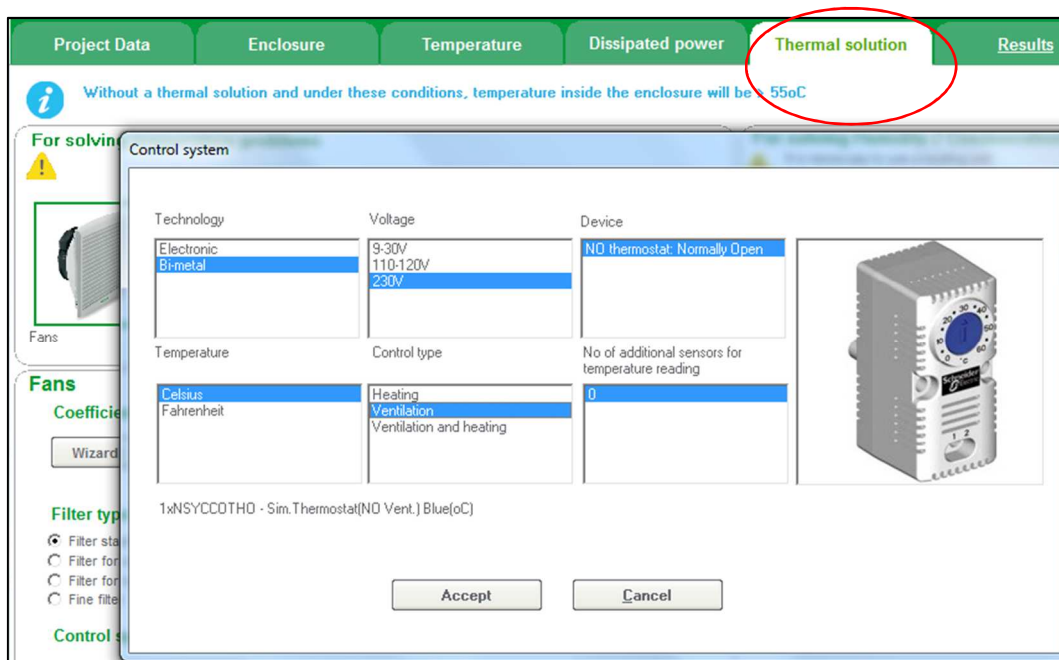
Tropické dny	
Den (DD/MM/R)	Teplota (°C)
29. 5. 2017	31,1
30. 5. 2017	34,3
3. 6. 2017	30,3
12. 6. 2017	31,8
19. 6. 2017	31,2
20. 6. 2017	34,8
21. 6. 2017	31,9
22. 6. 2017	34,4
24. 6. 2017	33,7
26. 6. 2017	30,8
27. 6. 2017	30,8
28. 6. 2017	34,3
1. 8. 2017	35,7
2. 8. 2017	34,4
3. 8. 2017	36,8
4. 8. 2017	31,2
5. 8. 2017	33,2
9. 8. 2017	32,4
10. 8. 2017	33,5
11. 8. 2017	30,2
25. 8. 2017	31,5
26. 8. 2017	32,6
27. 8. 2017	31,8
31. 8. 2017	32,4
Průměrná teplota (°C)	32,7
Maximální teplota (°C)	36,8
Minimální teplota (°C)	30,2

Dalším rozhodujícím parametrem o výběru správného typu chlazení je hodnota tepelných ztrát vznikajících uvnitř rozváděče. Dle Tab. 10.1. je součet všech největších ztrát přibližně 850 W. Je zřejmé, že se jedná o maximální hodnoty při jmenovitém zatížení, což v případě tohoto rozváděče nehrozí. Pro názorný příklad lze brát jistič frekvenčního měniče, ve kterém při průchodu proudu 100 A vzniká výkonová ztráta 5,2 W na jeden pól, což v tohle případě neplatí, jelikož jistič může být zatížen maximálním proudem 75 A. To samé platí i o frekvenčním měniči a dalších jističích prvcích. Dle těchto předpokladů lze říct, že výkonová ztráta 850 W v sobě ukrývá i určitou rezervu všech spojů mezi vodiči a svorkami.

Hodnotu tepelných ztrát lze zadat do záložky „Dissipated power“ ve které lze i vybrat přesné typy jističů zařízení od společnosti Schneider. Bohužel v této nabídce nebyl přesný typ použitého frekvenčního měniče a výsledné vypočtené ztráty pomocí programu byly odlišné. Z těchto důvodů byla hodnota ztrát vypočtena ručně a zadána přímo do programu.

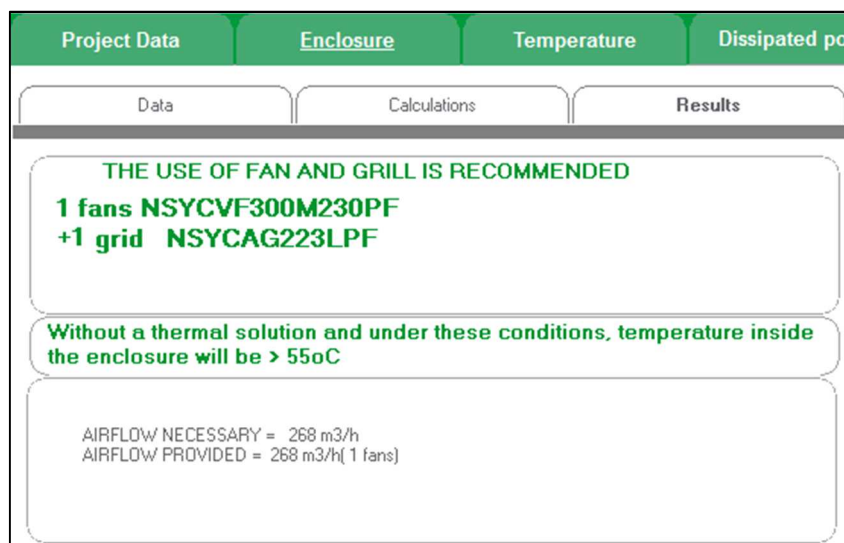
Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o vyplnění hodnoty do jednoho řádku, nemá význam do této části zahrnovat i obrázek pro náhled.

V poslední části programu je nutné vybrat jakým způsobem je možné rozváděč chladit. V tomto případě je vybrána jedna z nejlevnějších variant v kombinaci elektrického ventilátoru s bimetalovým termostatem. Náhled na konfiguraci lze vidět na Obr. 10.19.



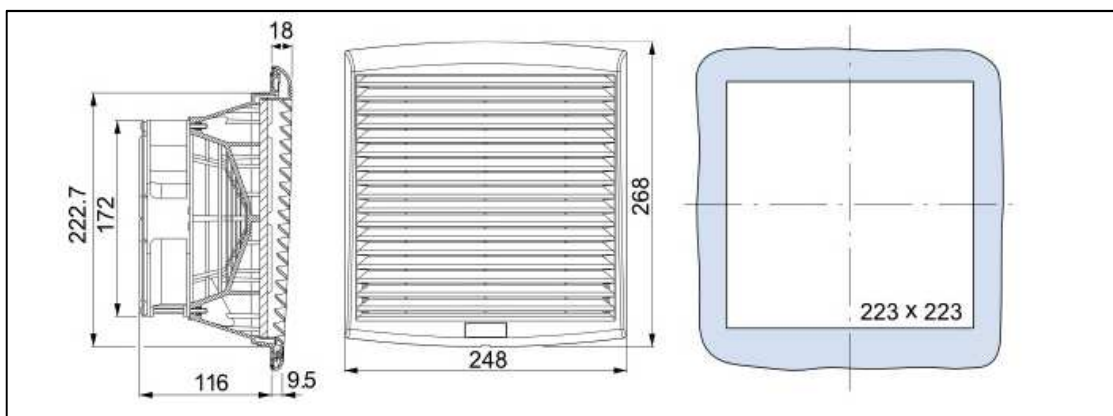
Obr. 10.19: Výběr použité konfigurace chlazení v programu ProClima.

V pravé horní části lze vidět záložku s řešením, ve které lze najít typ chlazení a přesnou specifikaci ventilátoru, který je nutný použít. Náhled na výsledek lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 10.20: Řešení chlazení v programu ProClima.

Program vyhodnotil, že nejlepší variantou je využít sací ventilátor s průtokem vzduchu 300m³/h v kombinaci s jednou vyfukovací mřížkou. Ve spodní části lze vidět, že potřebný a doporučený průtok vzduchu je minimálně 268 m³/h. Nyní je důležité upozornit na to, že tento způsob chlazení bude účinný při maximální teplotě okolí 33-34 °C za podmínky, že v rozvaděči bude maximálně 45 °C. Tuto hodnotu teploty limituje záložní zdroj, který je při běžném provozu konstruován do rozsahu teplot 0 - 45 °C jak lze vidět v Tab. 10.1. Náhled na nový ventilátor lze vidět na následujícím obrázku. Celá technická specifikace je součástí katalogu výrobce. [35]



Obr. 10.21: Náčrty velkého ventilátoru. [25]

V této chvíli je důležité rozhodnout, zda se do rozváděče tento typ ventilátoru vleze, jelikož je toto řešení limitováno šířkou skříně, protože nejlepší možností je umístění chladicího systému na bok rozváděče. Dále je nutné brát ohled na vnitřní vybavení skříně. Vzhledem k tomu, že s prostorem nebyl problém, tak byl využitý tento ventilátor. Výměna probíhala v rámci druhého měření z podzimu roku 2017, při kterém se musel zvětšit otvor z původního malého ventilátoru na nový a umístit ho do stejného prostoru i s vyfukovací mřížkou. Pro názorný příklad lze nahlédnout na Obr. 10.22 a Obr. 10. 23, ve kterých lze vidět rozdíly před a po výměně.



Obr. 10.22: Rozdíl mezi malým a velkým ventilátorem.

Při srovnání si lze všimnout, že velký ventilátor je obvodově, přibližně čtyřikrát větší a disponuje téměř osmkrát větším chladícím výkonem než malý ventilátor. Jeho elektrický výkon je 36 W s maximálním tlakem vzduchu 158 Pa. Další fotky z výměny jsou k nahlédnutí v příloze E.

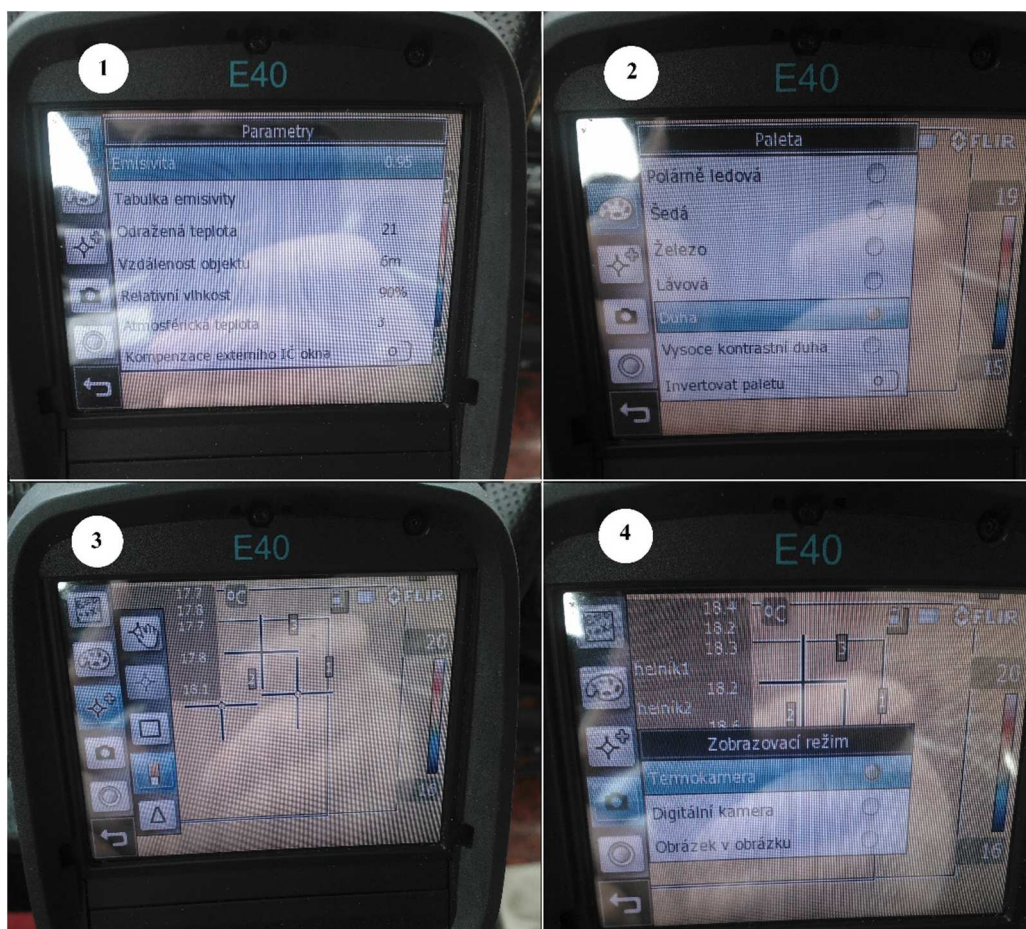
Z Tab. 10.3 lze vidět, že nejvyšší teplota byla 3. 8. 2017 s hodnotou 36,8 °C a další teplotní extrém byl zaznamenán 1. 8. 2017 s teplotou 35,7 °C. Na tyto hodnoty není nový způsob chlazení dimenzovaný. Jelikož program hlásí, že pokud teplota venkovního okolí bude 36 – 37 °C tak je nutné použít ventilátor s průtokem vzduchu 560 m³/h v kombinaci s dvěma vyfukovacími mřížkami. Bohužel tento ventilátor je již moc velký a nešlo by ho umístit do stávajícího rozváděče. Je nutné si uvědomit, že tyto vysoké teploty nastaly pouze dvakrát během roku 2017 a to pouze na pár hodin. Z tohoto důvodu je návrh

chlazení navrhnutý na maximální průměrnou teplotu, která během léta ve většině dní nepřesáhla 33 - 34 °C.

V předchozích kapitolách bylo zmíněno, že teplota uvnitř rozváděče by neměla přesáhnout 40 °C. V tomto případě je limitní teplota 45 °C, protože záložní zdroj je touto hodnotou limitován. Ostatní přístroje jsou konstruovány na mnohem vyšší teploty. Pokud by v tomto experimentu byla limitní teplota 40 °C, bylo by nutné využít dva velké ventilátory o výkonu 560 m³/h nebo použít jiný typ chlazení, doporučen byl například výměník vzduchu/vzduch nebo vzduch/voda. Bohužel tato možnost je z finančních důvodů pro provozovatele nemožná, jelikož by se musel vyrobit úplně nový rozvaděč, který by rozměrově vyhovoval tomuto řešení. Vzhledem k prostředkům, které byly na tuto úpravu dostupné je momentální řešení dostačující.

10.6 Uživatelské menu termokamery

K experimentu byla využita termokamera typové řady E40 od společnosti Flir. Práce s tímto zařízením již byla zmíněna v kapitole 9. Tato část bude zaměřena pouze na nejdůležitější nastavení termokamery během experimentu. Dále zde bude rozebrány možnosti vykreslování termogramů a typy zobrazovacího režimu. Na Obr. 10. 23 lze vidět čtveřici fotografií, na kterých jsou vyfoceny jedny z nejdůležitějších položek v nastavovacím menu zařízení.



Obr. 10.23: Menu termokamery.

Na obrázku č. 1 lze vidět menu parametrů, které je nutné zjistit a zadat do tabulky. Na prvním řádku je emisivita povrchu. Jedná se o jednu z nejdůležitějších hodnot, kterou je nutné zjistit. V případě špatně zadané emisivity může dojít ke značné chybě měření. V případě tohoto měření byla zvolena hodnota emisivity 0,95 na základě tabulky hodnot emisivity běžných povrchů. Nejběžnější materiály povrchů uvnitř rozváděčové skříně jsou plastové hmoty (polypropylén, polyester). U těchto materiálů se emisivita pohybuje v rozmezí 0,95-0,97. [27] Vzhledem k tomu že kryty jednotlivých přístrojů mají různé barvy, pohybuje se rozmezí jejich emisivity od 0,92 do 0,96. [22] Z těchto hodnot vychází průměrná emisivita 0,95, která byla zadaná v menu termokamery po celou dobu měření ve všech případech.

Na dalším řádku v prvním obrázku lze vidět odraženou teplotu. Tato hodnota musela být neustále hlídána, jelikož nejvíce odražené teploty zapříčiňoval frekvenční měnič. Pokud měření probíhalo v oblasti frekvenčního měniče, bylo nutné změřit nejprve teplotu v nejteplejší oblasti a tuto hodnotu zadat do odražené teploty pokud součástí výsledného snímku byla i část s nejteplejším místem frekvenčního měniče. Tato hodnota se měnila souvisle s ročním obdobím.

Dalším důležitým parametrem na snímku byla vzdálenost měřícího zařízení od místa měření. Pokud by byla zadaná větší vzdálenost, než ve skutečnosti je, mohlo by dojít ke změření menší teploty než ve skutečnosti. V termokameře nebyla možnost nastavit vzdálenost v cm, tudíž pokud měření probíhalo z menší vzdálenosti než je 1 metr, tak vstupní hodnota vzdálenosti byla nastavená na 0 metrů.

V poslední části prvného obrázku lze vidět atmosférickou vlhkost a teplotu. Tyto hodnoty bylo možné jednoduše zjistit z internetových stránek nebo z teploměru v autě a zadat do parametrů.

Na snímku 2 lze vidět možný výběr barevných palet, dle kterých se bude na výsledných termogramech zobrazovat rozdíl jednotlivých teplot. V případě tohoto měření byla využita duhová paleta. Další velmi využívanou paletou barev je lávová. Příklad lávové palety barev lze vidět v kapitole 9 na Obr 9.4.

Na třetím snímku je možné zahlednout několik měřených bodů a oblastí. Tato funkce je velmi výhodná pokud je nutné zjistit teplotu okolní zastíněné části prostředí a měřeného objektu. Také je možné srovnat teploty na přehřívané části a části, která je v teplotním normálu, jelikož v tomhle režimu lze vidět okamžitý rozdíl teplot. Také je důležité pro každý bod nastavit správnou vzdálenost měření a emisivitu prostředí, jinak srovnávané teploty nebudou správné a výsledný rozdíl teplot bude chybně naměřený a nepoužitelný pro další zpracování. V případě tohoto experimentu bylo využito hlavně měření pomocí jednoho bodu, protože bylo nutné zjistit kritickou hodnotu oteplení na určitém přístroji. V zimním měření bylo využito měření pomocí dvou bodů, tak aby bylo možné vidět rozdíl mezi venkovní teplotou a teplotou rozváděče. Snímky s měřením pomocí více bodů lze vidět v příloze D.

V posledním, čtvrtém snímku lze vidět tři základní zobrazovací režimy termokamery. V případě tohoto měření bylo využito režimu termokamery a digitální kamery, při kterém se pořizuje automaticky jeden termogram a klasická fotografie zároveň. Zajímavostí je režim obraz v obraze, při kterém se pomocí kamery pořídí klasická fotografie s výřezem termofotky v místě měření dle toho, kde je nastavený bod snímání teploty. Příklad tohoto režimu lze vidět v příloze A na fotce 4.

Menu termokamery je velmi jednoduché na ovládání a režimů, jakými je možné snímat povrchové teploty je mnoho. V této části byli pouze vyňaty režimy, které byly využity při experimentu.

11 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala problematikou elektrických rozváděčů, základními požadavky, která jsou na tyto zařízení kladeny. Další část se zabývá základním rozdělením rozváděčů dle napěťových hladin a důležitými zásadami při dimenzování a ověřování. Po základním rozdělení práce navazuje na hlavní teoretickou část, která obsahuje poznatky o šíření tepla. Tato část zahrnuje převážně odvození základních vztahů pro různé druhy šíření tepla. Po analýze sdílení tepla v různých látkách a v práci dále kapitola o tepelných ztrátách v rozváděči. Tato část zahrnuje základní způsoby, jak tepelné ztráty v rozváděči vznikají a jaké jsou možnosti jejich eliminace. Jednotlivé druhy chlazení jsou rozděleny do základních kategorií v následující části. Na tento oddíl navazuje kapitola o zjišťování povrchových teplot pomocí termokamery. V této části jsou rozebrány základní principy termokamery a základy při jejím používání. Praktická část zahrnuje experimentální měření na rozváděči a je rozdělena do šesti podkapitol, ve kterých jsou rozebrány poznatky o místě měření, parametrech rozváděče, hlavních zdrojích tepelných ztrát, srovnání naměřených hodnot v různých časových obdobích, návrhu nového chlazení a základním nastavení termokamery při měření.

V první části se práce zaměřuje na požadavky, které je nutné dodržet na každém rozvodném zařízení. V této části bylo rozebráno pět základních požadavků. Po rozebrání jednotlivých podmínek se dochází ke stanovisku, že aby výsledné zařízení bylo špičkové technické kvality, bude toto zařízení velmi drahé, což je hlavní kámen úrazu při návrhu jakéhokoliv výrobku. Je však důležité upozornit, že veškeré požadavky musí být splněny, jelikož elektrické zařízení musí být spolehlivé a bezpečné. Na tento rozbor navazuje krátká část o stupních krytí elektrických zařízení. Jedná se totiž o jeden ze způsobů, jak některé požadavky na rozváděče splnit. Závěrem lze říct, že každý rozváděč po otevření dveří musí mít minimální stupeň krytí IP 20 a při zavřeném stavu minimálně IP 40. Nejlepším stupněm krytí je IP 68 a 69, které zajišťují dokonale hermeticky uzavřené rozváděčové nebo rozvodné zařízení. Paradoxně je v dnešní době nejrozšířenější stupeň krytí IP 00 u nejvyšších napěťových hladin, protože neexistuje takový izolační systém, a tím pásem je nutné využívat vzduchovou izolaci. Důležité je i rozdělení rozvodu a rozváděčů dle napěťových hladin. Po rozboru jednotlivých typů lze říct, že v dnešní době jsou nejvýše využívány kovově kryté a plastové rozváděče, u kterých je nutné brát na ohled elektromagnetickou kompatibilitu. Z tohoto důvodu se prostory v rozváděčích rozdělují na primární a sekundární části (výkonová a měřicí, řídicí část). V další části jsou zahrnuty základy při dimenzování rozváděčů. Jednotlivé poznatky mají za úkol minimalizovat nebo zcela eliminovat poruchové stavy vznikající v rozváděčích. Tyto požadavky je nutné zkontrolovat pomocí zkoušek, dle kterých se kontroluje konstrukce. U zkoušek na konstrukci se převážně kontroluje stupeň krytí a izolační poměry pomocí impulzivního výdržného napětí. Mezi zkoušky technických parametrů se řadí zejména zkouška dielektrických vlastností, správnost zapojení a celková funkčnost celého zařízení. U trvalého oteplení je nutné zkontrolovat, aby se jednotlivé části v rozváděči neoteplily nad dovolenou mez. Převážně kovové a izolační kryty se mohou oteplít v rozmezí 40–50 K. Je ale nutné brát ohled na to, že limitní dovolenou hodnotu oteplení určuje výrobce zařízení. Tudíž hraniční teplota je dána použitými přístroji a materiálem rozváděčové skříně. Z dalších parametrů, které jsou uvedené v závěru kapitoly o dimenzování, je patrné, že výsledné zařízení musí být odolné vůči vnějším vlivům, zkratům. Celé zařízení je nutné podrobovat revizím a údržbě tak, aby bylo bezpečné a mělo co nejdelší životnost.

Další část práce je zaměřena na teoretické poznatky o základních způsobech sdílení tepla. Z tohoto rozboru vyplývá, že přestup tepla může probíhat vedením, prouděním a sáláním. V mnoha případech se uplatňují všechny tři typy zároveň. Při výpočtu přestupu tepla z povrchu do okolí se převážně využívá Newtonovy rovnice, která popisuje, že výsledné tepelné ztráty předávané do okolí jsou závislé na součiniteli přestupu tepla, povrchu tělesa, které předává teplo do okolí a dále na rozdílu mezi teplotou tělesa a teplotou prostředí. Z jednotlivých vztahů je zřejmé, že ve většině případů platí rovnice tepelné rovnováhy, která popisuje, že celková tepelná energie je dána energií na zvýšení tepla tělesa a tepla, které se povrchem odvede do okolí. Tato rovnice platí, pokud děj není adiabatický, při němž je oteplení tak rychlé, že se nestihne žádná část tepla předat do okolí. Z tepelného rozboru lze také zjistit, že největším problémem při výpočtu oteplení je zjištění správného součinitele přestupu tepla, který je ve většině případů výpočtů považován za konstantní během procesu oteplování. Bohužel toto není pravda, protože jeho hodnota závisí na okamžité hodnotě oteplení povrchu tělesa oproti okolnímu oteplení. Další část kapitoly o šíření tepla je zaměřena na volné a nucené proudění v neohrazeném nebo ohrančeném prostoru. V této části nás práce seznamuje s teorií podobnosti, díky které se lze vyhnout řešení složité soustavy diferenciálních rovnic. Dále se teorie podobnosti využívá pro zjištění součinitele přestupu tepla. K výpočtům jsou využita Nusseltova, Grasshoffova a Prandtlova čísla, které je možné využít ve výpočtech v neohrazeném prostoru, ve kterém probíhá ohřev a ochlazování tělesa nezávisle na sobě. Pokud děj probíhá v ohrančeném prostoru, výsledný součinitel přestupu tepla závisí na Reynoldsově číslu. V tomto případě děj ochlazování a ohřevu probíhá ve vzájemné závislosti a lze zde mluvit o nuceném proudění. Dle velikosti Reynoldsova čísla rozdělujeme nucenou konvekci na laminární a turbulentní. Závěr kapitoly je věnován šíření tepla pomocí sálání a vedení. U šíření tepla sáláním je důležité si uvědomit, že každé těleso, jehož teplota je vyšší než 0 K, svým povrchem vyzařuje určité záření. Při dopadu tepelného toku na těleso se část tepelného toku odrazí, část se pohltí a určité množství se propustí. Jev propustnosti tepelného toku lze zaznamenat převážně u průteplivých těles. U šíření tepla vedením se celý děj odvíjí od Fourierovy rovnice, která popisuje, že procházející množství tepla je závislé na ploše a součiniteli tepelné vodivosti tělesa kterým teplo prochází.

Další část teoretické části je věnována tepelným ztrátám uvnitř rozváděčů. Z této kapitoly je zřejmé, že tepelné ztráty způsobuje proud protékající proudovodnou dráhou s kombinací s činným odporem vodivého materiálu. Jednotlivé tepelné ztráty vznikají na všech elektrických přístrojích, vodičích a svorkách. Určité tepelné ztráty vznikají i na měřicích a řídicích okruzích. Určitý elektrický výkon vstupuje do rozváděče, který se rozdělí na část, která způsobuje ztrátový výkon a na část výkonu, která vystupuje z rozváděče ke spotřebičům. Při rozložení teploty na stěně rozváděče mezi vnitřním a vnějším prostředím lze pozorovat, že v této situaci se uplatňují všechny tři druhy sdílení tepla. Teplo, které vzniká uvnitř zařízení, se musí nějakým způsobem odvádět do okolí. Toto je zaručeno prostřednictvím vlastní plochy rozváděče. K tomuto účelu se využívá zjištění účinné chladicí plochy rozváděče, která závisí na způsobu, jakým je rozváděč instalován. Způsob instalace popisuje činitel b , který v sobě ukrývá, zda je rozváděčová skříň umístěna například u stěny nebo není z žádné části ničím obkloповána. Tento způsob se nazývá pasivním chlazením. Pokud je nárůst vnitřní teploty větší, než je dovolená mez, je v těchto případech nutné aktivní chlazení. Jedním z nejrozšířenějších aktivních chlazení je nucená ventilace pomocí ventilátoru. U tohoto způsobu je nutné dodržet, že teplota uvnitř rozváděče musí být minimálně o 5 °C vyšší než venkovní teplota. Pokud tato podmínka neplatí, je nutné využít tepelných výměníků vzduch/vzduch nebo vzduch/voda. V extrémních situacích, kdy je teplota vyšší v okolním

prostředí než požadovaná teplota uvnitř rozváděče, lze využít chladicí kompresorové jednotky. Závěr kapitoly je zaměřený na pár hlavních zásad při umisťování chladicích zařízení na rozváděče. Z této podkapitoly je zřejmé, že záleží hlavně na dispozičních prostorech a také o tom jak jsou rozváděče instalovány, jelikož jednotlivá chladicí zařízení by se neměla vzájemně ovlivňovat.

Na tuto část navazovala podkapitola o práci s termokamerou, ve které byl rozebraný základní princip, který je založený na třech základních, konstrukčních prvcích – detektoru, optice a elektronice pro zpracování obrazu. Z dalších částí je zřejmé, že i u termokamery, jakožto měřicího zařízení, je nutné dbát na celou řadu chyb, kterým je nutné se vyhnout při povrchovém měření teplot. Mezi základní chyby patří vlastní chyba kamery. Další chyby jsou ovlivněny správným nastavením kamery a dodržením určitých pravidel při měření. Jedna z chyb, která může výrazně ovlivnit výsledky celého měření, je špatně nastavená emisivita povrchu. Při špatně zvolené emisivitě se rozdíl skutečné a naměřené teploty může pohybovat i řádově v desítkách stupních celsia. Mezi další chyby, které velmi ovlivňují naměřené výsledky, je odražená teplota od okolních předmětů, které mají převážně lesklý povrch. Při zanedbání odražené teploty není měřicí zařízení schopné jednoznačně rozlišit, zda se jedná o tepelné záření daného objektu nebo odražené záření. Do méně výrazných chyb lze zařadit vliv špatně zadané atmosférické teploty, vzdálenosti od měřeného místa a atmosférické vlhkosti. Tyto hodnoty jsou však nejjednodušší na zjištění a v těchto případech není problém je zadat do parametrů termokamery před měřením.

Poslední část této práce byla věnována experimentálnímu měření teplot na skutečném rozváděči přímo v provozu. Na rozváděči byla detekovaná vysoká hodnota oteplení přesahující mez dovoleného oteplení v letním období. Cílem bylo zjistit, které prvky zapříčiňují tepelné ztráty a následně vymyslet možnost jak ztráty omezit. Ztrátové výkony jednotlivých komponentů bylo u většiny možné zjistit z katalogových údajů jednotlivých výrobců. Po kontrole jednotlivých prvků bylo zjištěno, že největším zdrojem tepelných ztrát je frekvenční měnič, který je při plném využití schopný do okolí odvést až 796 W v podobě tepla. Případ tohoto měření poukazuje na to, že se v této situaci nelze obejít bez nucené ventilace pomocí elektrického ventilátorů. Ztrátový výkon je tak velký, že není možné jej odvést pouze plochou rozváděče. V další části byly rozebrány hlavní dopady velkého oteplení na jednotlivé přístroje. V této části byl zjištěn problém na komunikačním zařízení, které se díky velkému oteplení přehřívalo a znemožňovalo odesílání či přijímání dat na hlavní dispečink celého provozu. Tento negativní vliv byl odstraněn tak, že se zařízení přemístilo do jiného místa. Hlavním problémem bylo však oteplení uvnitř rozváděčové skříně, které dosahovalo téměř 54 °C, tato hodnota přesahuje limitní provozní teplotu záložního zdroje a frekvenčního měniče. Dále je nutné upozornit na to, že PLC je schopné provozu při maximálně 60 °C. Při měření pomocí termokamery byla na tomto zařízení zaznamenána hodnota 59,5 °C, která je hranicí dovolené meze. Hlavním úkolem tedy bylo stanovit maximální tepelné ztráty, které mohou uvnitř rozváděče vznikat a zajistit způsob jakým je odvést do okolí. K tomuto úkolu pomohl program ProClima, ve kterém bylo možné simulovat konkrétní případ. Po zadání jednotlivých, vstupních hodnot bylo zjištěno, že pokud má být v rozváděči maximálně 45 °C při průměrné maximální teplotě v tropických dnech, je nutné využít velký sací ventilátor s minimálním průtokem vzduchu 268 m³/h s přídatnou vyfukovací mřížkou. Celé řešení limitovaly rozměry rozváděče a vnitřní výzbroj. V této fázi je nutné upozornit na to, že pokud by teplota uvnitř skříně měla být ještě menší, bylo by nutné využít dva ventilátory a dva odvětrávací otvory. Toto bohužel nebylo možné vzhledem k dané situaci s ohledem na prostor uvnitř rozváděče. Velmi efektivním řešením by bylo i využití tepelného výměníku nebo klimatizační jednotky. Toto řešení však nebylo možné uskutečnit z důvodů velkých

cenových nákladů a nutnosti pozastavení celého provozu vodovodního vrtu z důvodu výroby nového rozváděče. Sací ventilátor je umístěný ve spodní části a vyfukovací otvor je umístěn v horní části. Díky tomuto řešení se vyhneme vzniku možného podtlaku uvnitř rozváděče a znemožnění proudění vzduchu.

Tato diplomová práce má za úkol analyzovat problematiku tepelných vlivů na elektrické rozváděče a poukázat na to, co patří mezi nejdůležitější faktory při jejich návrhu, zohlednit jednotlivé výhody a nevýhody jednotlivých druhů rozváděčů a typů chlazení a zdůraznit, na co je nutné si dávat pozor při zjišťování tepelných ztrát. V neposlední řadě má poukázat na nejčastější chyby, kterých je možné se dopustit při bezkontaktním měření teplot pomocí termokamery.

Použitá literatura

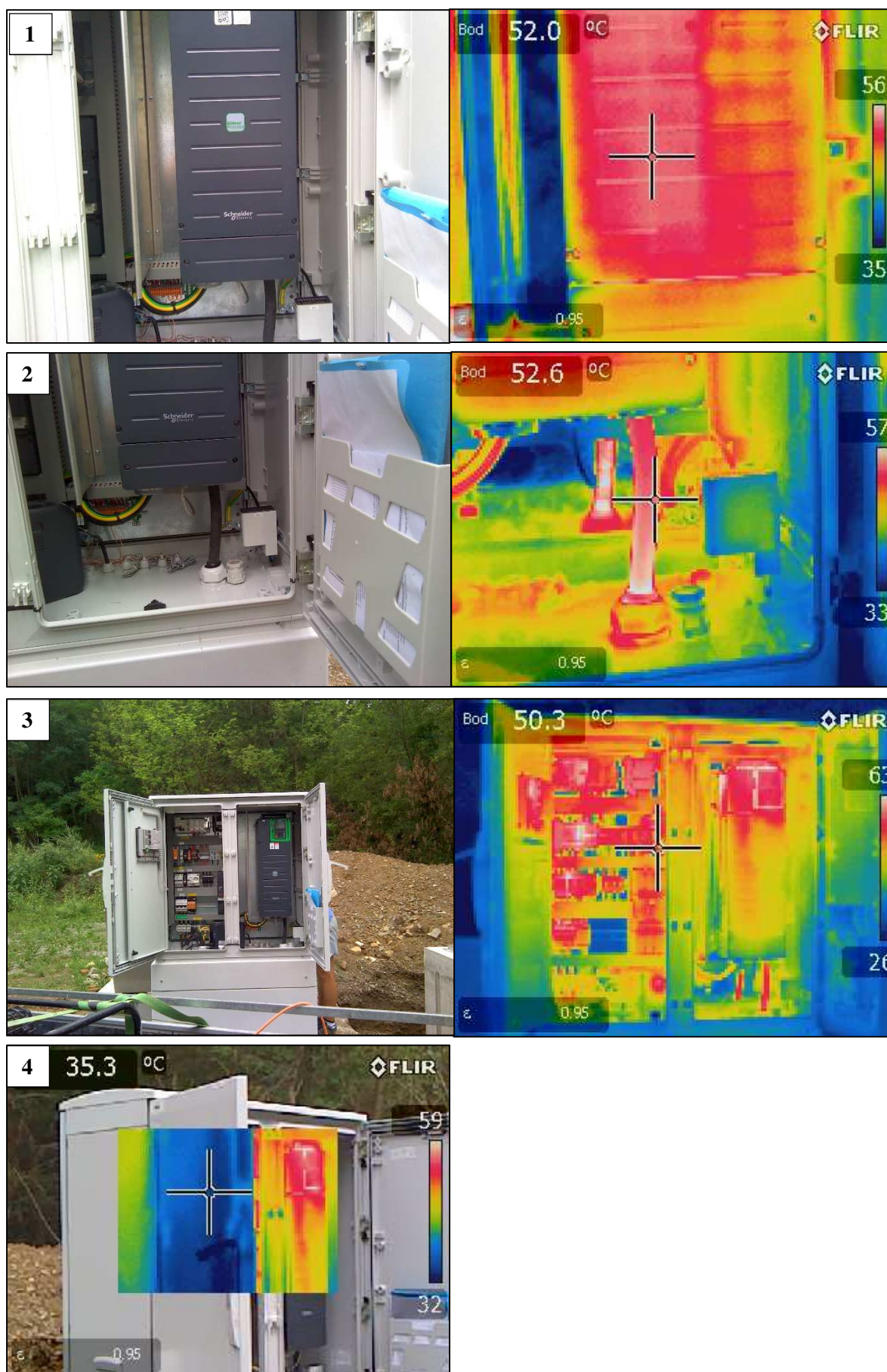
- [1] HYTKA, Zdeněk. *Přednáška, předmět: Elektrické přístroje 3, 1. ročník, letní semestr: Téma: Rozvodná zařízení*. VŠB – TU Ostrava, 2017.
- [2] ČSN EN 61439-1 ED.2. *Rozváděče nízkého napětí-Část 1: Všeobecná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] Bonega [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: http://www.bonega.cz/go.asp?odkaz=elektro/vzdelani/clanky/kryti_ip.htm
- [4] KOUDELKA, Ctirad. *Rozváděče a rozvodnice* [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FAST/rozvadece.pdf>. VŠB-TU Ostrava.
- [5] BUŤ B.K., a Kolektiv. *Elektrické přístroje: Základy teorie*. Praha: SNTL, 1977.
- [6] POKORNÝ, Marek. *Vedení tepla* [online]. Praha: Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2006 [cit. 2018-03-30].
- [7] HERZIG, Zdeněk. *Stanovení oteplení rozváděčů výpočtem*. Praha: STRO.M, spol. s.r.o., 1995.
- [8] MINDL, Pavel. Zdroje tepla a tepelné toky v rozvaděči. *Elektrika* [online]. 2002 [cit. 2018- 03-30]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/anmindl2020802>
- [9] KŘÍŽ, Michal. *Oteplení rozváděčů v důsledku tepelných ztrát. TZB info* [online]. 2009 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/6017-otepleni-rozvadecu-v-dusledku-tepelnych-ztrat>
- [10] NOVÁK, Miroslav. *Chlazení/klimatizace rozváděčů* [online]. Liberec: Technická Univerzita v Liberci [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2020232/>
- [11] LEDVINKA, Zbyněk. Odvod tepla z rozvaděče. *Elektrika* [online]. 2010 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/odvod-tepla-z-rozvadece>
- [12] GLASNÁK, Jan. Požadavky pro návrh chlazení elektrických rozváděčů. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2014 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/pozadavky-pro-navrh-chlazení-elektrických-rozvadecu>
- [13] MINDL, Pavel. SCHRACK: Aktivní řízení teploty elektrických rozváděčů. *Elektrika* [online]. 2018 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/schrack-aktivni-řízení-teploty-elektrických-rozvadecu>

- [14] GLASNÁK, Jan. Zařízení pro odvod ztrátového tepla z elektrických rozváděčů. *Proelektrotechniky.cz* [online]. 2014 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/35.php>
- [15] GLASNÁK, Jan. Požadavky pro návrh chlazení elektrických rozváděčů. *Proelektrotechniky.cz* [online]. 2014 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/34.php>
- [16] *Princip a funkce termokamery* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/>
- [17] SOVA, Jan. *Jak začít s termografickou diagnostikou budov?* [online]. 2013 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/10629-jak-zacit-s-termografickou-diagnostikou-budov>
- [18] NAVE, Carl R. *Radiated Power from Blackbody* [online]. 2013 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/radfrac.html>
- [19] *Odborné poradenství v oblasti termografie* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.centrumtermografie.cz/>
- [20] *Meteorologická stanice Brno* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.meteo.jankovic.cz/>
- [21] ČSN EN 50525-2-21. *Elektrické kabely - Nízkonapětové silové kabely pro jmenovitá napětí do 450/750 V (Uo/U) včetně - Část 2-21: Kabely pro všeobecné použití - Flexibilní kabely se sesíťnou elastomernou izolací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [22] Hodnoty emisivit nejdůležitějších materiálů. *Testo* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.testo.com>
- [23] *Rázové oddělovací tlumivky RTO: Oddělovací tlumivka RTO-16* [Katalog]. SALTEK [cit. 2018-03-30].
- [24] *Industrial Modem Router: Router R3000* [Katalog]. Robustel [cit. 2018-03-30].
- [25] Axial fan with filter NSYCVF300M230PF. *ScatTechnology* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.scat-technology.com/equipment-for-cabinets/filters/fan-nsycvf300m230pf-230vac/>

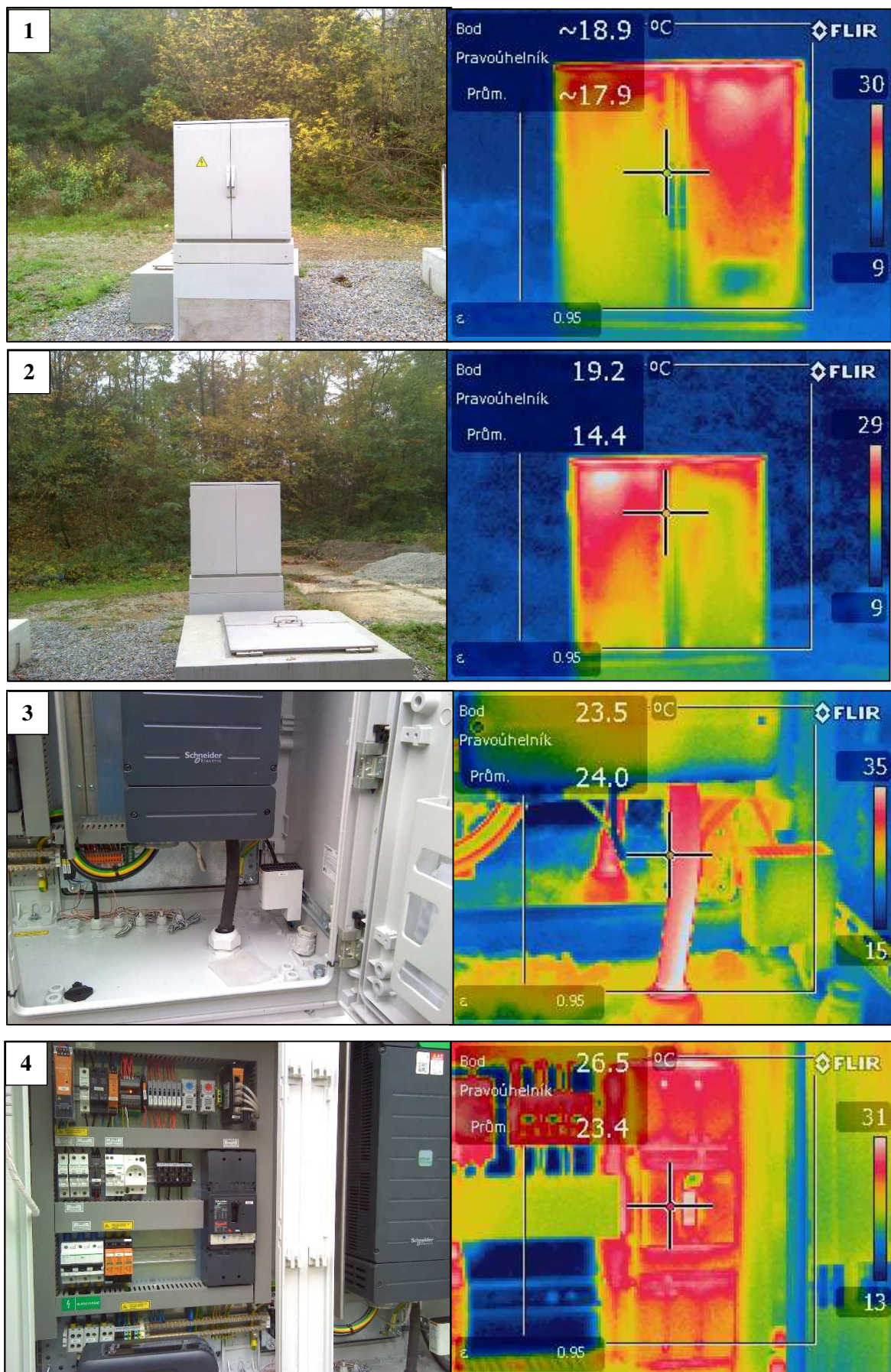
- [26] Axial fan with filter NSYCVF38M230PF. *ScatTechnology* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.scat-technology.com/equipment-for-cabinets/filters/fan-nsycvf38m230pf-230vac/>
- [27] Tabuľka: Emisivita. *Elso* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.else.sk/sk/content/79-tabulka-emisivity-materialov>
- [28] URBAN, Zbyněk. Rozváděč – jeho úloha v elektrické instalaci (1. část). *Elektro* [online]. 2009 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/rozvadec-jeho-uloha-v-elektricke-instalaci-1-cast--11386>
- [29] MINDL, Pavel. Aktivní chlazení elektrických rozváděčů. *TZB info* [online]. 2004 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/bezpecnost-a-revize/2091-aktivni-chlazení-elektrických-rozvadeců>
- [30] Connect Power PROmax single-phase: Zdroj PRO MAX 72W 24V 3A. *Weidmüller* [online katalog]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=en&ObjectID=1478100000>
- [31] Procesní frekvenční měniče NN: Frekvenční měnič ATV630D37N4. *Schneider Electric* [online katalog]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.schneider-electric.cz/cs/product/ATV630D37N4/frekven%C4%8Dn%C3%AD-m%C4%9Bni%C4%8D-atv630---37kw---380...440v---3f---ip21>
- [32] Modicon M340 automation platform: PLC - BMXCPS2000. *Schneider Electric* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.schneider-electric.com.tw/documents/product-services/download-local-catalog/industry/IDPAC Modicon M340 Catalogues EN 2014.pdf>
- [33] Enclosures - Thalassa PLA: Rozváděč - NSYPLA10104. *Schneider Electric* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: http://pdf.schneider-electric.nu/files/partnumbers/NSYPLA10104_document.pdf
- [34] Prisma P: Ventilátor - NSYCVF38M230PF. *Schneider Electric* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.schneider-electric.cz/cs/product/NSYCVF38M230PF/climasys-ventil%C3%A1tor-ip54---38m3-h---230v---s-v%C3%BDstup.m%C5%99%C3%AD%C5%BEkou-a-filtrem-g2>

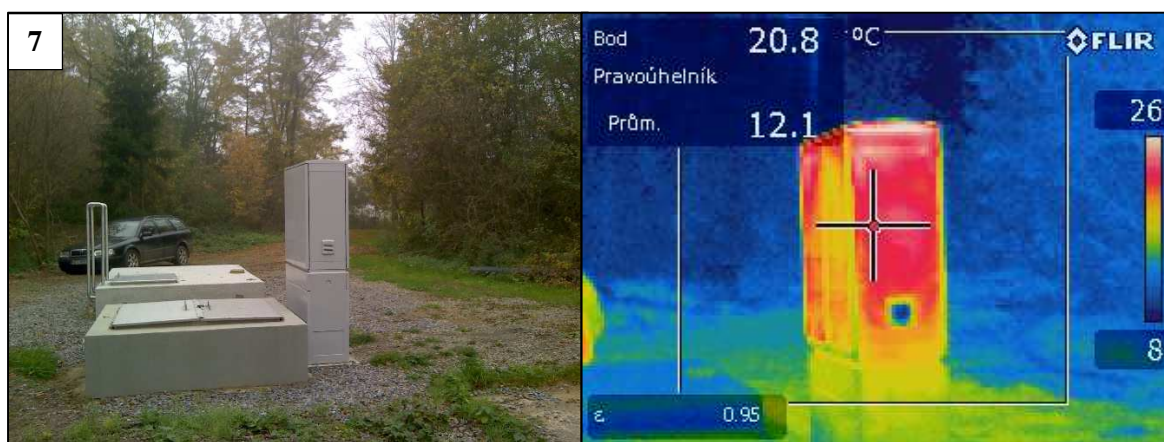
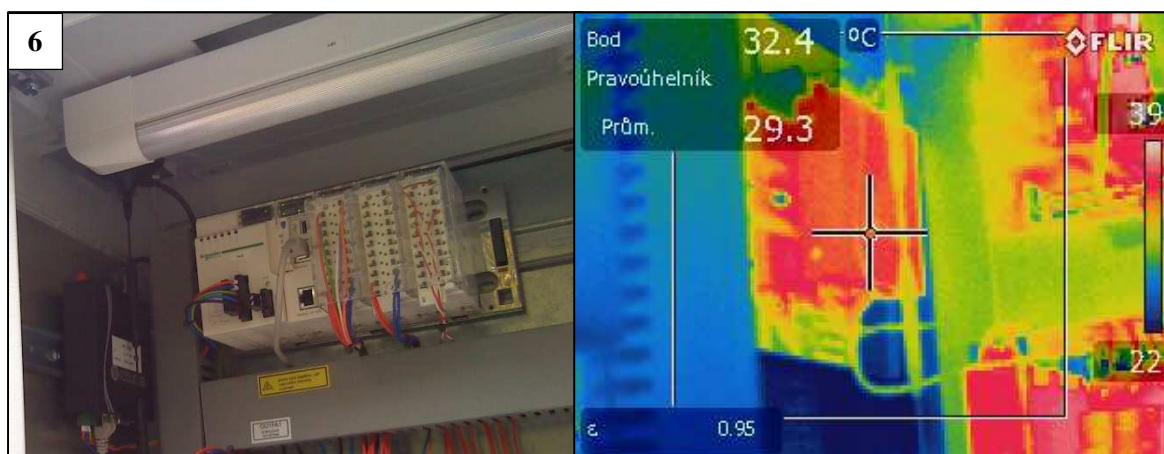
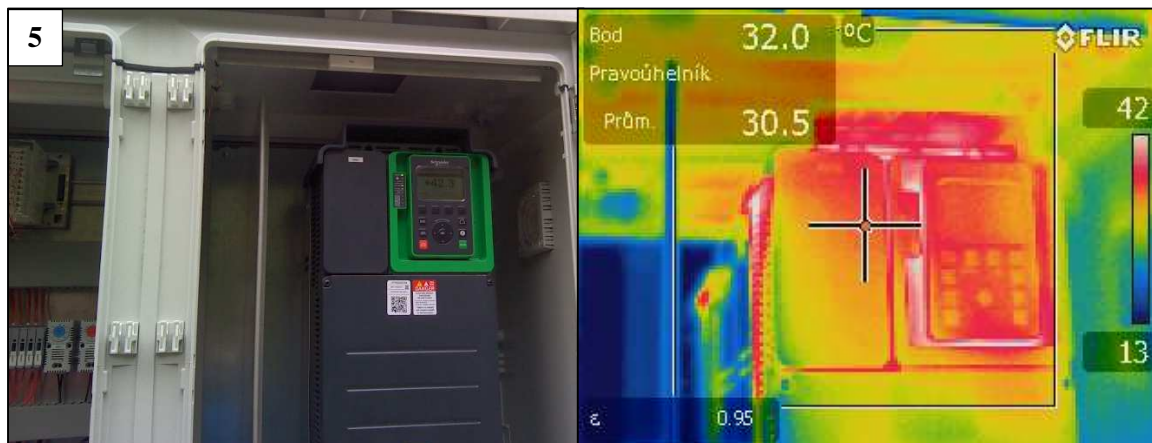
- [35] Prisma P: Ventilátor - NSYCVF300M230PF. *Schneider Electric* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:
<https://www.schneider-electric.cz/cs/product/NSYCVF300M230PF/climasys-ventil%C3%A1tor-ip54---300m3-h---230v---s-v%C3%BDstup.-m%C5%99%C3%AD%C5%BEkou-a-filtrem-g2>
- [36] Dissipated power, Impedance and Voltage drop: Tabulka ztrátových výkonů. *Schneider Electric* [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:
http://www2.schneiderelectric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/176000/FA176552/en_US/Dissipated%20power_Impedance_Voltage%20_drop.pdf
- [37] UPS: Záložní zdroj - Alfa 600. *a2b* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:
http://www.a2b.sk/upload/files/pdf_en/UPS/Archive/UPS_Alfa_Alfa_Plus_kat_list_en_V052009.pdf
- [38] ClimaSys DT: Datalogger - NSYDTEF32TRH. *Schneider Electric* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:
https://www.schneider-electric.com/en/en/product-range-_presentation/63602-climasys-dt/
- [39] Flir E40: Termokamera. *Flir* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:
<https://eshop.micronix.cz/data/cz/att/002/4924-4545.pdf>
- [40] Z8125 4-L6C: Čerpadlo. *Lowara* [online katalog]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:
https://brownbros.com.au/files/Technical_Data/TECHNICAL_Lowara_Z8_Series_z8-td-en.pdf

Příloha A Experimentální měření - Léto 2017

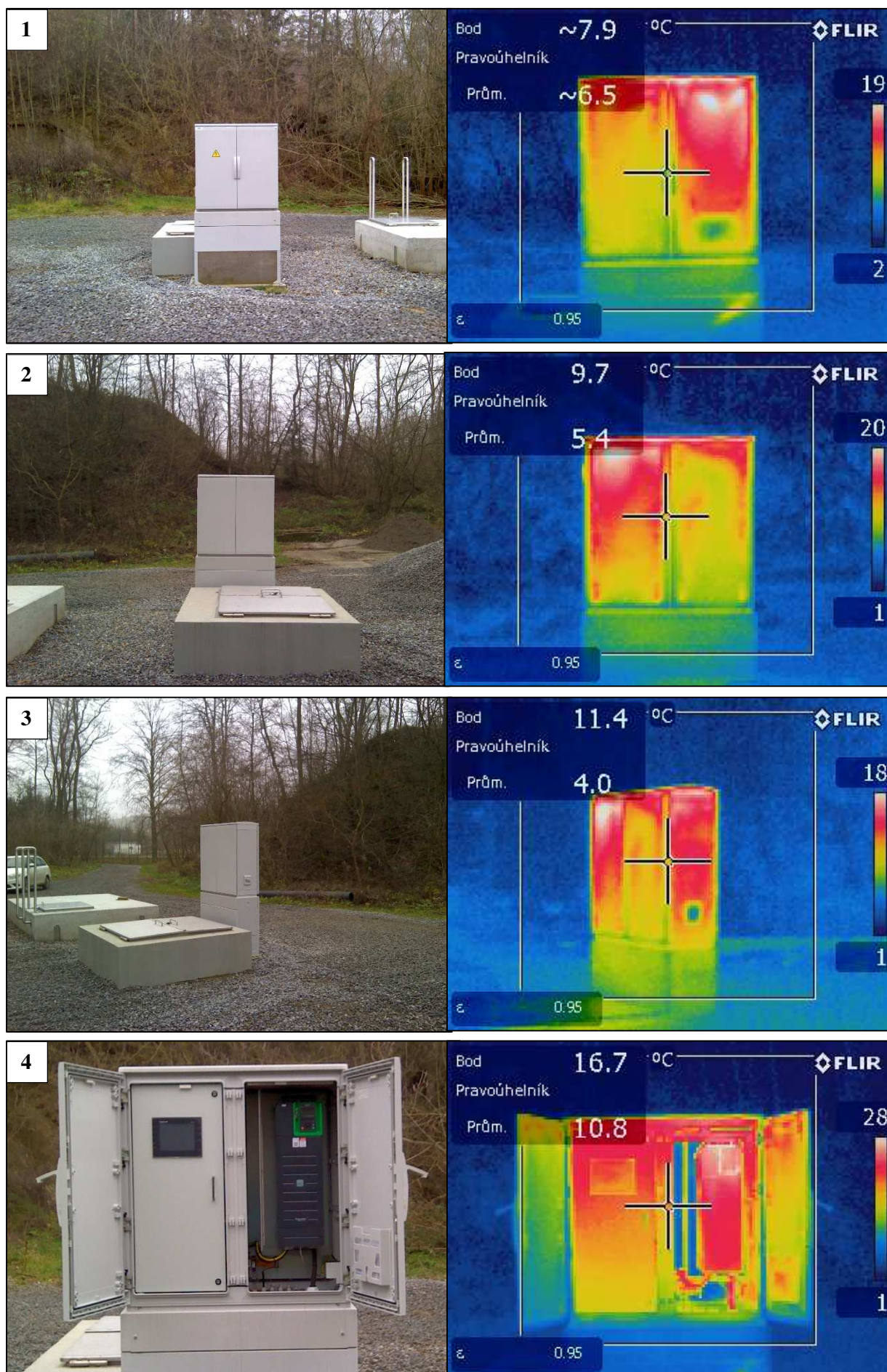


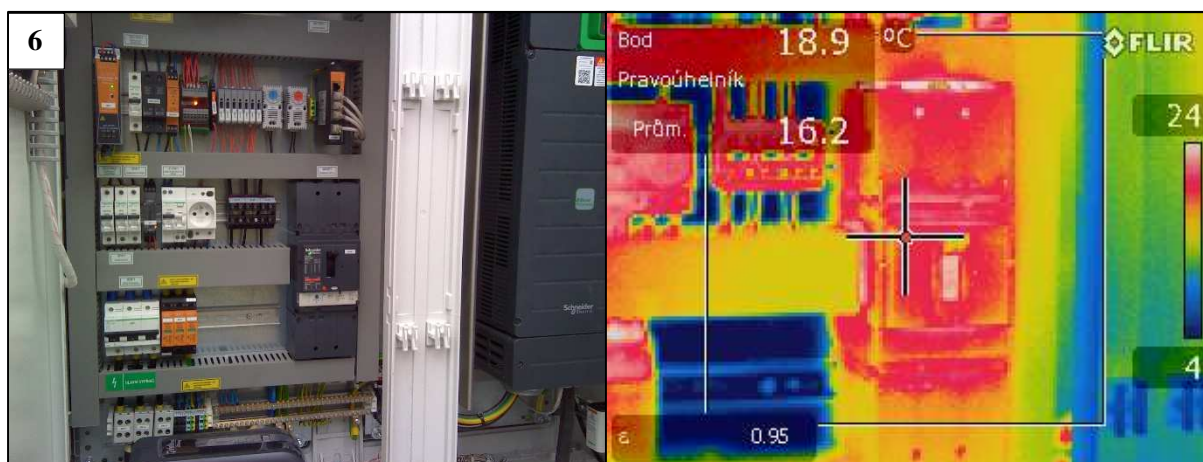
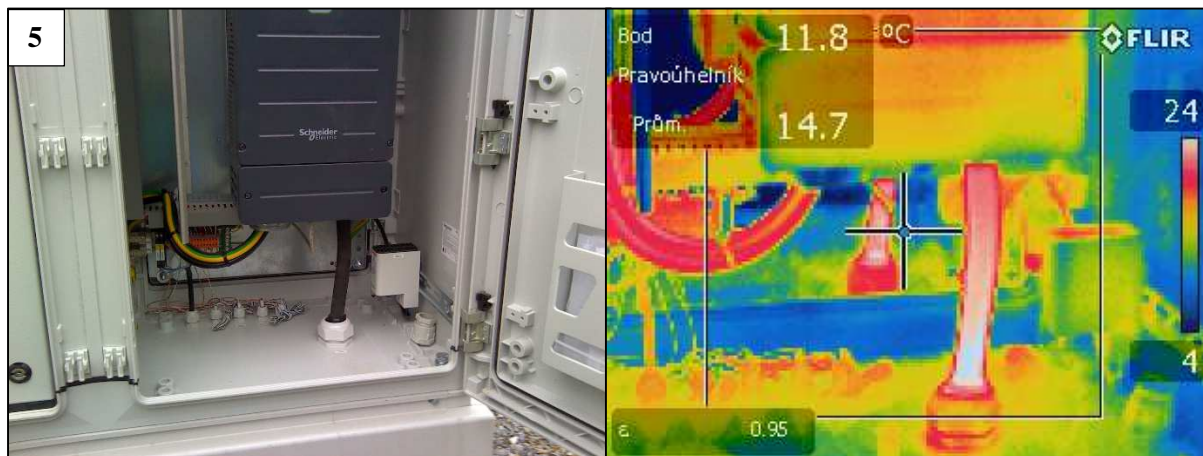
Příloha B Experimentální měření - Podzim 1. část 2017



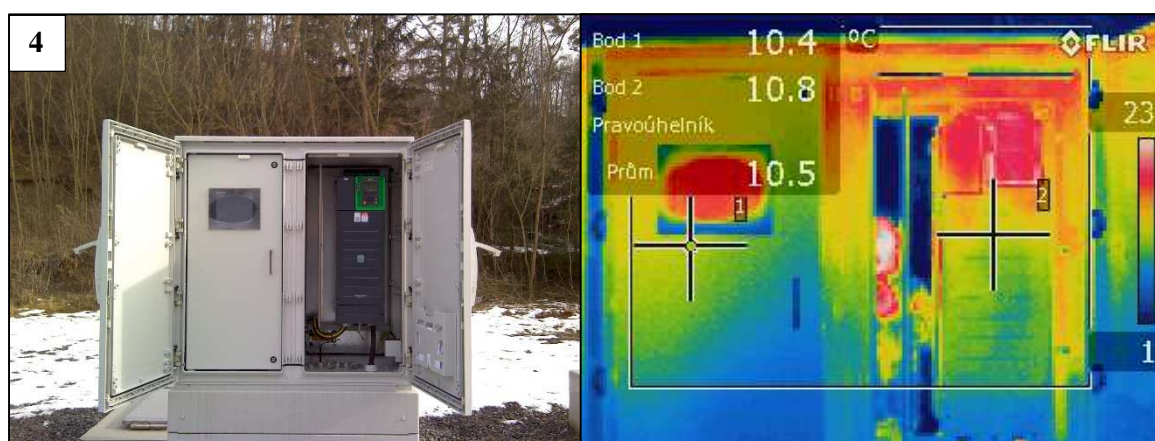
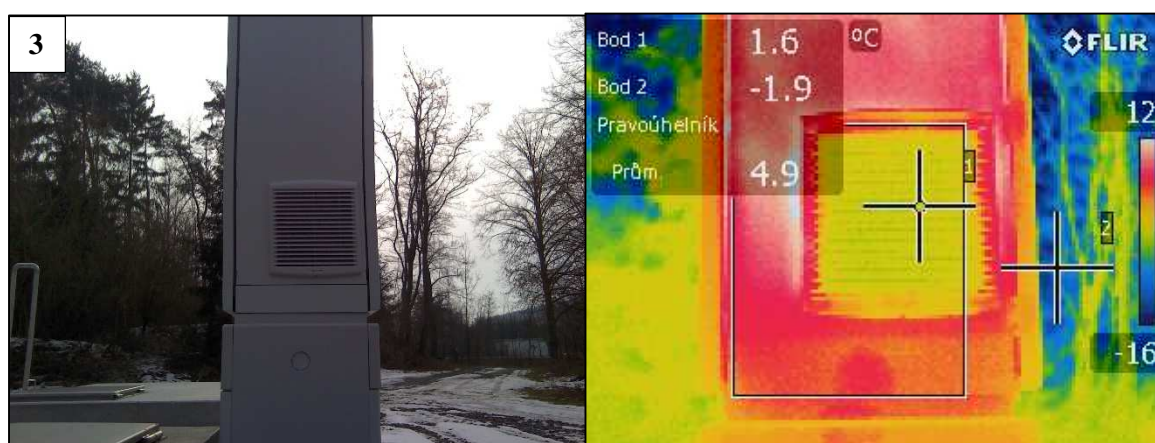
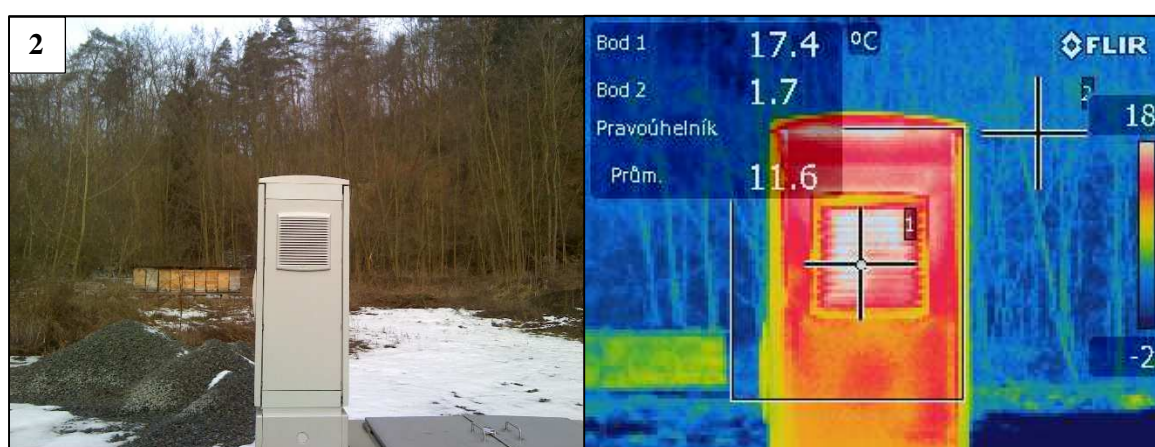
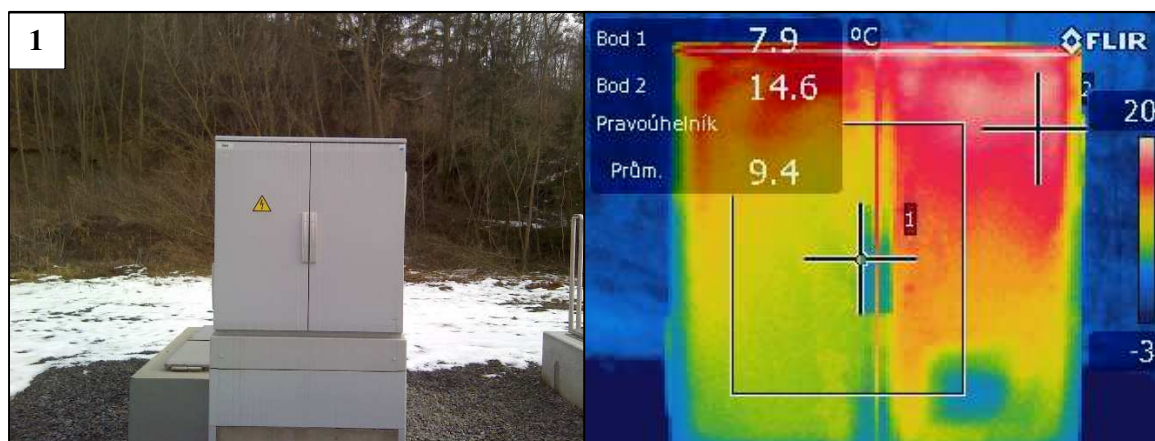


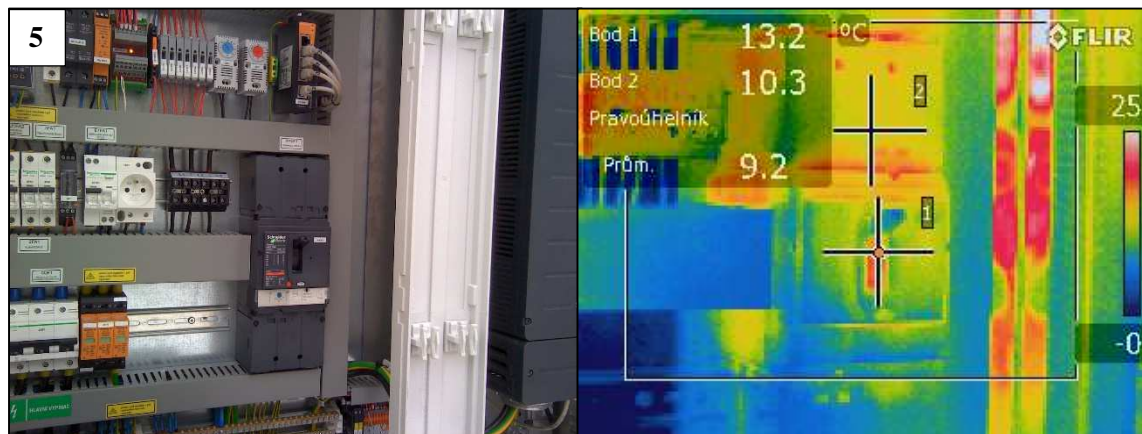
Příloha C Experimentální měření - Podzim 2. část 2017



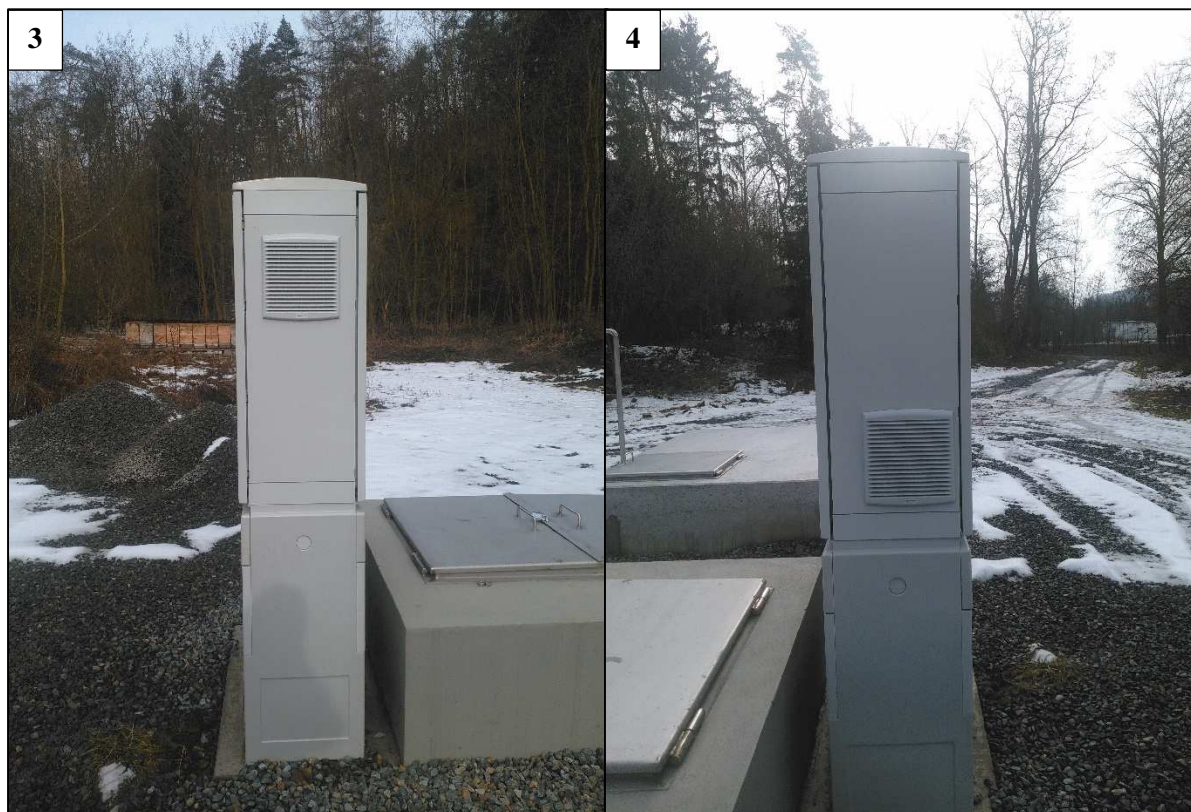
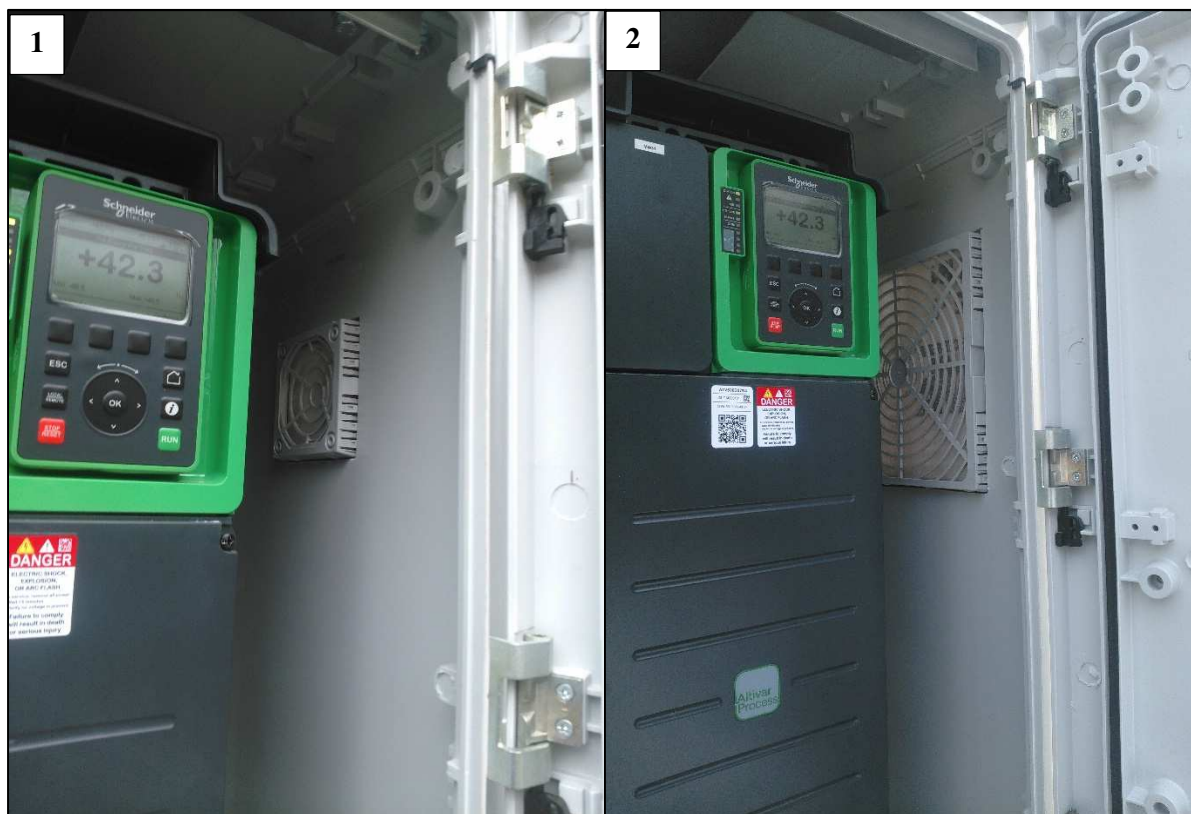


Příloha D Experimentální měření - Zima 2018





Příloha E Výměna ventilátoru



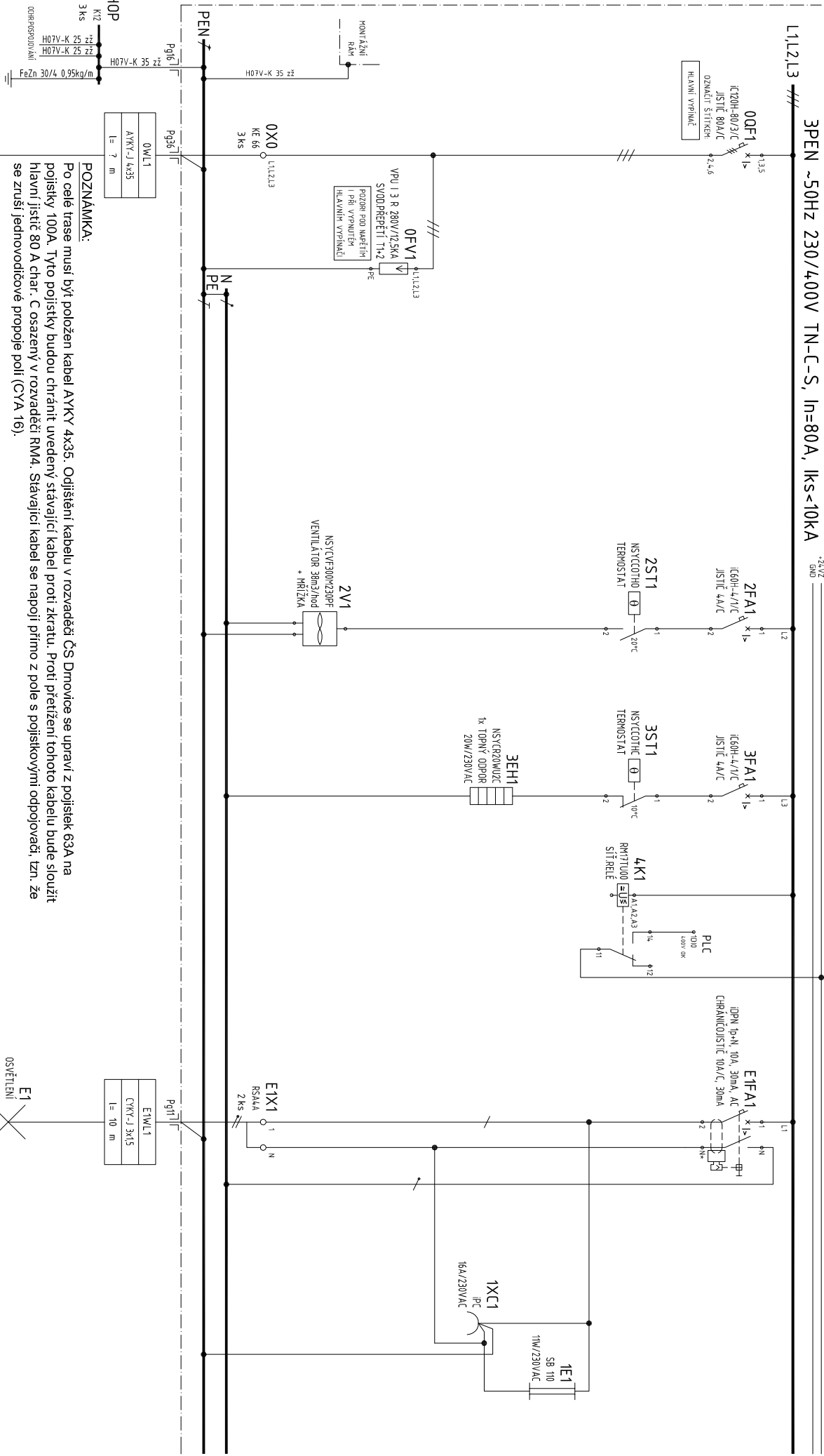
OBSAH:

- 01 ÚVODNÍ LIST, SEZNAM LISTŮ, POZNÁMKY
- 02 ROZVADĚČ RM4, POHLED, OCHRANA PŘED ÚRAZEM EL.PROUDEM
- 03 PŘÍVOD, SVODIČ PŘEPĚTÍ, SERVISNÍ SVĚTLO A ZÁSUVKA, TEMPEROVÁNÍ, ODVĚTRÁNÍ ROZVADĚČE, RELÉ 400V, SVĚTLO ŠACHTA
- 04 ČERPADLO M4
- 05 ZDROJOVÁ SOUSTAVA, PLC, OPERÁTORSKÝ PANEL, LTE ROUTER
- 06 MaR - MĚŘENÍ HLADINY VRTU, VÝTLAK, VODOMĚR, EZS

DATUM : 08/2017	AKCE : ČS DRNOVICE VRT 4	PŘÍLOHA : OBVODOVÉ SCHÉMA ROZVÁDĚČE	POLE : ---
STUPEŇ : DSPS	OBJEKT : VRT HV4 DRNOVICE	RM4	MĚŘÍTKO : ---
PROJEKTANT : ROBERT VOJTEK	ZAK.ČÍSLO : 9507	ČÍSLO PŘÍLOHY :	ČÍSLO VÝKR.: 01
KONTROLA : MGR. NIMMRICHTER	INVESTOR : VaK VYŠKOV a.s.	F-3.3&EFS1	



GDF spol.s r.o.
Mostkov 28, 788 01 OSKAVA, Czech Republic
<http://www.gdf.cz>, mail: projekce@gdf.cz
tel.: +420 583 301 810, fax.: +420 853 301 842



0	2	3	4	E1	1
PŘÍVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE Z ČS DRNOVICE	KLIMATIZACE	TEMPERACE ROZV.	KONTROLA 400VAC	OSVĚTLENÍ ŠACHTA	SERV.ZÁSUJKA+SVĚTLO

DATUM : 08/2017	AKCE : ČS DRNOVICE VRT 4				
STUPEŇ : DSPS	OBJEKT : VRT HV4 DRNOVICE				
PROJEKTANT : ROBERT VOJTEK	ZAKČÍSLO : 9507				
KONTROLA : MGR. NIMPRICHTER	INVESTOR : VAK VÝŠNOV a.s.				
1	2	3	4	5	6
PŘÍLOHA : OBVODOVÉ SCHÉMA ROZVÁDĚČE		ČÍSLO PŘÍLOHY :		F-3,3&EFS1	
RM4		ČÍSLO VÝKR.:		03	
GDF spol.s r.o.		MĚŘITKO : ---		GDF spol.s r.o.	
Moskovic 28, 788 01 OSKAVA, Czech Republic		http://www.gdf.cz, mail: projekce@gdf.cz		Moskovic 28, 788 01 OSKAVA, Czech Republic	
tel.: +420 583 301 810, fax: +420 853 301 842				tel.: +420 583 301 810, fax: +420 853 301 842	

L1,L2,L3

M4QF1
NSX100F (LV429003)
JISTIČ VÝK.100A (Inst.75A)
(0,7-1x In) 2,5,6

PE 4,1,1,2,3

M4G1
ATV33003M4
MĚNIČ FREKVENCÍ
30kW/400V/615A

2
S10B
S10A
0V

ŘÍZENÍ: D04, U2
--- L1
--- L3
--- L4
RESET U5

ETHERNET

PC-SWI

STIN 4,1,1,2,3,PE

N
PE


Page 11

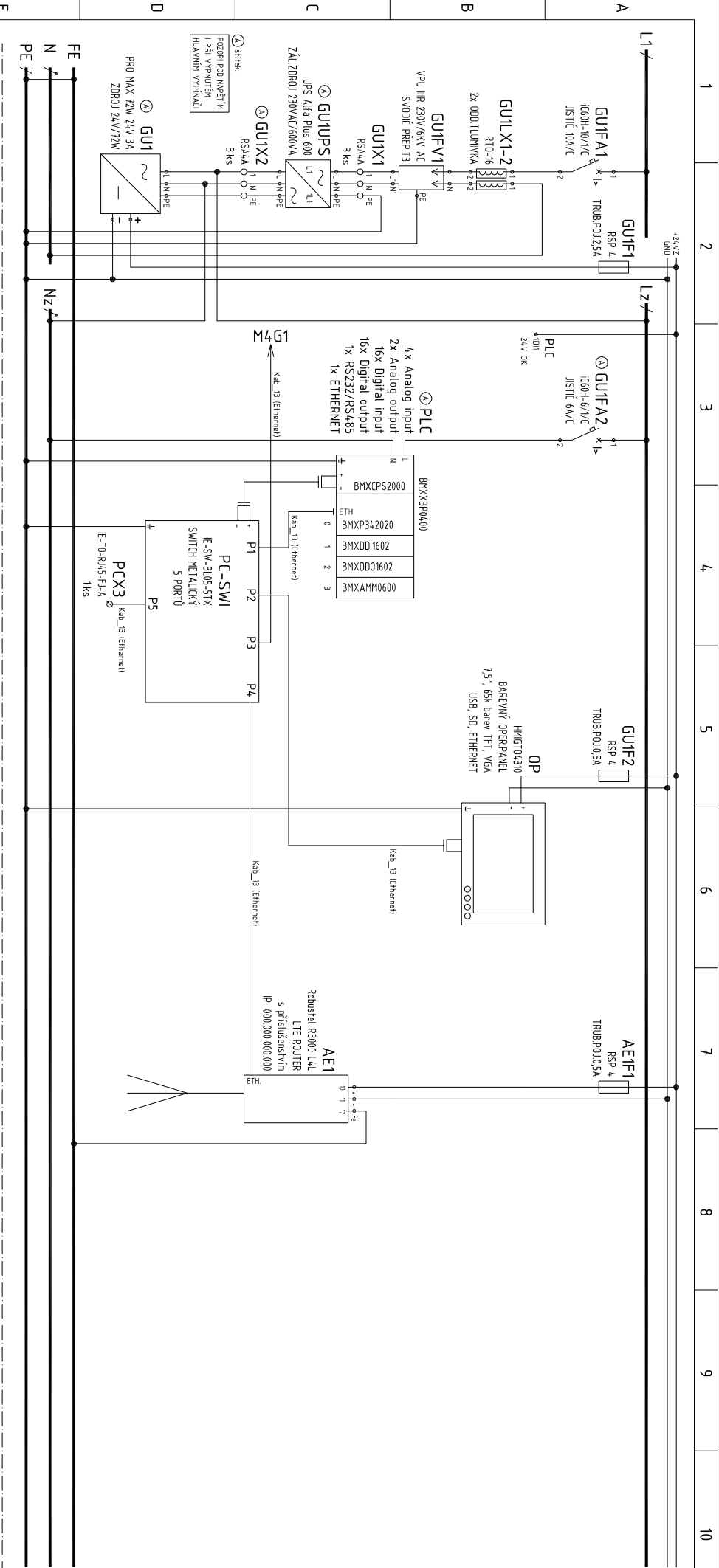
M4 WL1
DDDS ČERPADLEM
l = --- m

M4
3~
28V25 4-16C
30kW/400V/615A
H07V-K 35 ZL H0P

M4

ČERPADLO VRTU 4

DATUM :	08/2017	AKCE :	ČS DRNOVICE VRT 4	PŘÍLOHA :	OBVODOVÉ SCHÉMA ROZVÁDĚČE	POLE :	---
STUPEŇ :	DSPS	OBJEKT :	VRT HV4 DRNOVICE	RM4		MĚŘITKO :	---
PROJEKTANT :	ROBERT VOJTEK	ZAKČÍSLO :	9507	ČÍSLO PŘÍLOHY :		ČÍSLO VÝKR.:	04
KONTROLA :	MGR. NIMMRICHTER	INVESTOR :	Vak VYŠKOV a.s.	F-3,3&EFS1			
<div><div><div></div><div><div>GDF spol. s r.o.</div><div>Mosťkov 28, 788 01 OSKAVA, Czech Republic</div><div>http://www.gdf.cz, mail: projekce@gdf.cz</div><div>tel.: +420 583 301 810, fax: +420 853 301 842</div></div></div></div>							



GU1		PLC		OP		AE1	
ZDROJOVÁ SOUSTAVA		ŘÍDICÍ JEDNOTKA		OPERAČNÍ PANEĚL		LTE ROUTER	

DATUM : 08/2017		AKCE : ČS DRNOVICE VRT 4		PŘÍLOHA : OBVODOVÉ SCHÉMA ROZVÁDĚČE		POLE : ---	
STUPEŇ : DSPS		OBJEKT : VRT HV4 DRNOVICE		RM4		MĚŘÍTKO : ---	
PROJEKTANT : ROBERT VOJTEK		ZAKČÍSLO : 9507		ČÍSLO PŘÍLOHY :		ČÍSLO VÝKR.: 05	
KONTROLA : MGR. NIMRICHTER		INVESTOR : VAK VYŠKOV a.s.		F-3.3&EFS1			

